Niveau(x) d'enseignement: 7 Numéro EDUQ : 9470485
Centre d'intérêt: 874

Cervera, Daniel.

Energie des fluides : analyse conceptuelle et représentations des élèves / Daniel Cervera et Abdeljalil Métioui. -- [Valleyfield] : Collège de Valleyfield, c1993.
143 p. : ill. ; 28 cm.

"Cette recherche a été subventionnée par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la science, dans le cadre du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage". Code: 1532-0424. Bibliogr.: p. 107-109.

ISBN 2-920918-11-7

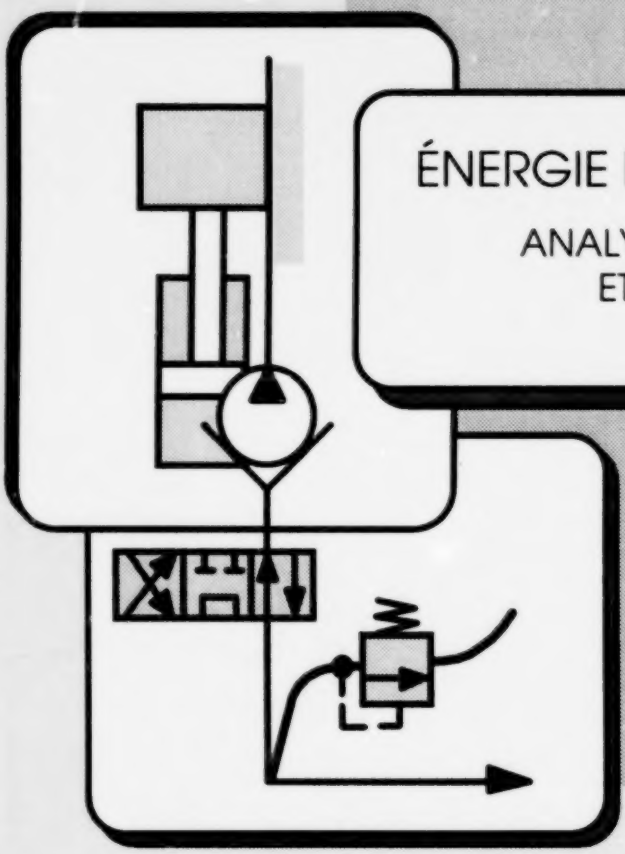
Vedette(s)-secondaire(s): Métioui, Abdeljalil

Descripteur(s): Techniques physiques * Concept * Difficulté d'apprentissage * Epistémologie * Analyse de tâches * Stratégie pédagogique * Questionnaire * Collégial (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Energie des fluides * Analyse de concepts * Représentation conceptuelle * Techniques de la mécanique * Fonction type * Constructivisme

Cette recherche s'intéresse aux difficultés conceptuelles qu'éprouvent les élèves dans les cours reliés à l'énergie des fluides des programmes de technologie de la mécanique de l'ordre collégial. Le premier chapitre présente une analyse conceptuelle de ce champ disciplinaire ainsi que les exigences en termes de tâches reliées aux fonctions de travail. Le second chapitre tente de caractériser, à l'aide d'une recherche qualitative de type piagétien, les représentations conceptuelles des élèves ayant une formation formelle en énergie des fluides, relativement aux concepts centraux issus de l'analyse du chapitre précédent. Le troisième chapitre esquisse une analyse des stratégies didactiques susceptibles de dégager les éléments clés d'une éventuelle intervention en vue de corriger les représentations naïves des élèves. Questionnaire à l'annexe 4.

Type de document:



ÉNERGIE DES FLUIDES :

ANALYSE CONCEPTUELLE ET REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES

Daniel Cervera
Abdeljalil Métioui

Collège de Valleyfield

94-70485

ÉNERGIE DES FLUIDES :

ANALYSE CONCEPTUELLE ET REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES

Daniel Cervera et Abdeljalil Métioui

Collège de Valleyfield

Cette recherche a été subventionnée par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, dans le cadre du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage.

Le contenu du présent rapport n'engage que la responsabilité du collège et de ses auteurs.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les professeurs Germain Daoust du Collège de Valleyfield, Olivier Hébrais du Collège de Trois-Rivières, Daniel Mallette du collège du Vieux-Montréal et Pierre Vaillancourt du Collège de Limoilou, ainsi que leurs étudiants qui ont participé au questionnaire écrit et aux entrevues cliniques avec tant de gentillesse.

Nous remercions également les professeurs Réjean Labonville de l'École Polytechnique de Montréal et Claude Brassard du Collège Lionel-Groulx, pour leur contribution à l'amélioration des aspects disciplinaires de nos travaux.

Notre gratitude s'adresse aussi à Monsieur Gaétan Clément, professeur au Collège de Valleyfield, pour sa contribution à la révision linguistique, ainsi qu'à Monsieur Yves Fontaine, conseiller pédagogique au Collège de Valleyfield, et à Madame Sylvie McSween, pour leur soutien technique.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I. L'ANALYSE CONCEPTUELLE DE L'ÉNERGIE DES FLUIDES 5

I. QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE DES FLUIDES ? 5

II. POURQUOI UN SYSTÈME D'ÉNERGIE DES FLUIDES? 6

III. LES DÉVELOPPEMENTS TECHNOLOGIQUES EN ÉNERGIE DES FLUIDES 9

IV. L'ANALYSE CONCEPTUELLE 9

V. L'ANALYSE CONCEPTUELLE : LES TRAVAUX EXISTANTS 11

VI. NOTRE APPROCHE DE L'ANALYSE CONCEPTUELLE 12

VII. LES FONDEMENTS ÉPISTÉMOLOGIQUES DE L'ÉNERGIE DES FLUIDES 12

A. PÉRIODE PRÉ-PARADIGMATIQUE 12

B. PÉRIODE PARADIGMATIQUE 13

C. RELATION ENTRE LA MAÎTRISE DES CONCEPTS ET LES RÉALISATIONS TECHNOLOGIQUES 14

VIII. L'ANALYSE DES FONCTIONS DE TRAVAIL 14

A. NATURE DES TÂCHES TECHNIQUES 16

1. CONCEPTION, MODIFICATION ET ADAPTATION DE SYSTÈMES 17

2. MONTAGE, RÉGLAGE ET MISE AU POINT DE SYSTÈMES 17

3. ENTRETIEN ET RÉPARATION DE SYSTÈMES 17

IX. LES EXIGENCES INTRINSÈQUES DE LA DISCIPLINE 18

A. FONCTION D'UN SYSTÈME D'ÉNERGIE DES FLUIDES 19

1. SOUS-FONCTIONS RELIÉES À LA TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE

1.1. TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE EN ÉNERGIE HYDROSTATIQUE 20

1.2. TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE HYDROSTATIQUE EN ÉNERGIE MÉCANIQUE 24

1.3. DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE HYDROSTATIQUE 27

1.4. ACCUMULATION DE L'ÉNERGIE HYDROSTATIQUE 29

2. SOUS-FONCTIONS RELIÉES À LA MODULATION DE L'ÉNERGIE

2.1. MODULATION DE LA FORCE 31

2.2. MODULATION DE LA VITESSE 33

3. SOUS-FONCTIONS AUXILIAIRES SERVANT À ASSURER LA STABILITÉ ET LE CONDITIONNEMENT DU SYSTÈME

3.1. STABILISATION THERMIQUE DU SYSTÈME 35

3.2. CONDITIONNEMENT DU FLUIDE 38

B. TABLEAU-SYNTHÈSE DES CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION EN ÉNERGIE DES FLUIDES 40

C. L'ÉNERGIE ET SES TRANSFORMATIONS : DES CONCEPTS CENTRAUX 41

CHAPITRE II. LES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES : CADRE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTATION 43

I. CONCEPT DIDACTIQUE DE REPRÉSENTATION 43

A. LA REPRÉSENTATION DES NOTIONS SCIENTIFIQUES ET LA REPRÉSENTATION SOCIALE 43

B. LA REPRÉSENTATION CONCEPTUELLE 44

C. PERSISTANCE DES REPRÉSENTATIONS SPONTANÉES 46

D. COEXISTENCE DE NIVEAUX MULTIPLES : PHÉNOMÈNE DE PLACAGE 46

II. FONDEMENT DES REPRÉSENTATIONS SPONTANÉES 47

III. AMPLEUR DU PHÉNOMÈNE 48

IV. APERÇU DES TRAVAUX PORTANT SUR LES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES EN DYNAMIQUE ÉLÉMENTAIRE 49

A. REPRÉSENTATION ANIMISTE DU CONCEPT DE FORCE 49

B. REPRÉSENTATION ARISTOTÉLICIENNE DU MOUVEMENT 49

V. APERÇU DES TRAVAUX PORTANT SUR LES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES EN HYDRAULIQUE 51

VI. L'EXPÉRIMENTATION 52

A. DESCRIPTION DE LA POPULATION 52

B. CONSTRUCTION DU QUESTIONNAIRE ÉCRIT 53

C. INTERPRÉTATION SCIENTIFIQUE DU QUESTIONNAIRE ÉCRIT 54

D. ANALYSE DES RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE ÉCRIT 56

E. SYNTHÈSE DES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES IDENTIFIÉES À L'AIDE DU QUESTIONNAIRE ÉCRIT 60

F. CONSTRUCTION DES SITUATIONS POUR L'ENTREVUE CLINIQUE 64

G. MÉTHODOLOGIE DES ENTREVUES CLINIQUES 67

H. ANALYSE DES RÉSULTATS DES ENTREVUES ET SYNTHÈSE DES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES 67

1. COMPRESSIBOILITÉ ET INCOMPRESSIBILITÉ 68

2. LE VIDE 73

3. FORCE ET PRESSION 77

4. ÉNERGIE ET PUISSANCE 80

4.1. ÉNERGIE ET CHALEUR 81
4.2. PUISSANCE, PUISSANCE ET VITESSE, PUISSANCE ET FORCE 81
5. VITESSE D'UN CORPS EN CHUTE LIBRE 83
VII. SYNTHÈSE GÉNÉRALE DES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES 85
CHAPITRE III. UNE APPROCHE PÉDAGOGIQUE DE REDRESSEMENT 91
I. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES 91
A. LE CONFLIT CONCEPTUEL 92
B. L'APPROCHE SYSTÈME 93
C. LES MODÈLES EXPLICATIFS 95
II. LES CONDITIONS DE SA MISE EN OEUVRE 95
A. L'EXPÉRIMENTATION 96
B. LES CONTRAINTES RELIÉES À L'EXPÉRIMENTATION 96
III. NOTRE CONCEPTION D'UNE APPROCHE CONSTRUCTIVISTE DE REDRESSEMENT 98
A. MODÉLISATION EN SIMULATION 98
CONCLUSIONS 103
BIBLIOGRAPHIE 107
ANNEXES
I INFORMATIONS DISPONIBLES DANS LES CAHIERS DE L'ENSEIGNEMENT COLLÉGIAL 111
II LIENS ENTRE LES FONCTIONS-TYPES ET LES TÂCHES RELIÉES À L'ÉNERGIE DES FLUIDES 114
III ANALYSE DÉTAILLÉE DES TÂCHES TECHNIQUES RELIÉES À L'ÉNERGIE DES FLUIDES 116
IV QUESTIONNAIRE ÉCRIT (VERSION S.I. ET U.S.) ET FEUILLE D'INSTRUCTIONS 120
V COMPILATION DES RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE ÉCRIT ET ÉNONCÉS DES HYPOTHÈSES DE REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES 133

INTRODUCTION

Le développement accéléré de la science et de la technologie, particulièrement depuis la deuxième guerre mondiale, marque un virage essentiel dans la structure technologique des pays industrialisés, le début d'une nouvelle ère économique. Ainsi, le développement industriel a transformé de manière profonde le tissu social. En quelques décennies, la société, qui était majoritairement rurale, est devenue à prédominance urbaine. La nature du travail s'est complexifiée, ce qui s'est traduit par des exigences de scolarisation accrue. Selon cette perspective, on comprendra l'intérêt croissant que suscite la problématique de la formation professionnelle, plus particulièrement dans les champs qui touchent le génie et les technologies industrielles. Ainsi, par exemple, sur la scène québécoise, plusieurs chercheurs affiliées au réseau Recherche-Développement pour les Formateurs (RDF) et au Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage (PAREA), du Ministère de l'enseignement supérieur et de la science, mettent en relief l'importance grandissante qu'il convient d'accorder à la formation techno-scientifique, particulièrement dans le contexte nouveau de multiplication exponentielle des connaissances que nous connaissons depuis une dizaine d'années, et de ses répercussions sur la complexité croissante des systèmes technologiques actuels (Labonté, 1986 ; Actes, 1986, 1988, 1989 et 1990). Toutefois, presque sans exception, ces mêmes études soulignent les difficultés d'apprentissage qu'éprouvent les élèves face à cette formation et à leur manque d'intérêt généralisé pour les matières à incidence scientifique. Les causes de cet état de fait semblent notamment imputables à l'absence d'une véritable didactique techno-scientifique, ce qui se traduit trop souvent par un enseignement qui fait appel à des recettes, des formules et des modes opératoires, prétendument fonctionnels, mais qui n'expliquent ni les raisons, ni les causes des situations observées, ni les phénomènes mis en cause. Dans ce contexte, les élèves peuvent réussir leur cheminement scolaire sans avoir assimilé l'essentiel des concepts mis à contribution.

Ainsi, nos travaux, dont les résultats sont présentés dans ce rapport, s'inscrivent dans cette perspective et ont pour objectif premier de contribuer à améliorer l'apprentissage des concepts et des principes de base qui régissent les phénomènes physiques se produisant dans les systèmes d'énergie des fluides (hydraulique et pneumatique). Plus spécifiquement, nous nous intéressons aux difficultés conceptuelles qu'éprouvent les élèves dans les cours reliés à l'énergie des fluides des programmes de technologie de la mécanique de l'ordre collégial. Ces difficultés sont caractérisés notamment par le fait que, même à la fin de leur formation, une majorité d'élèves ne parvient pas à résoudre convenablement des problèmes ou à expliquer des situations, pourtant très simples, voire élémentaires du point de vue de la discipline, et qui souvent n'exigent pas de calculs mais qui font plutôt appel à une description qualitative des phénomènes mis en cause. Les élèves n'arrivent pas à établir de relation entre la

situation et les concepts qui sous-tendent les phénomènes impliqués. Nous avons identifié certaines de ces difficultés d'apprentissage au cours de travaux antérieurs (Youssef et al. 1991 ; Cervera et al. 1991). Il en découle que, même à la fin de leur formation, les élèves justifient tel ou tel phénomène par des théories naïves ou des concepts complètement étrangers à ceux de la science et de la technologie.

Dans ce rapport, au premier chapitre, nous préciserons, d'une part, les objectifs de l'énergie des fluides et nous exposerons les grandes lignes des développements technologiques qu'a connus l'énergie des fluides, de même que ses impacts sur l'industrie. D'autre part, nous présenterons une analyse conceptuelle de ce champ disciplinaire consistant à identifier et à rendre explicites les concepts de base, les lois et les modèles explicatifs qui constituent son fondement. Ainsi, nous avons identifié les concepts indispensables à sa compréhension selon deux perspectives complémentaires. L'une consiste à étudier les différentes fonctions technologiques réalisées par les systèmes d'énergie des fluides, à partir desquels nous avons dégagé les principes fondamentaux et, par conséquent, les concepts qui les sous-tendent. L'autre cherche à connaître les exigences en termes de tâches reliées aux fonctions de travail. Bref, ce chapitre tente d'expliciter les fondements épistémologiques de l'énergie des fluides en établissant les liens entre la discipline et les exigences de la pratique professionnelle. Il est important de noter qu'il ne s'agit nullement d'une simple énumération ou description des principes, lois et concepts ; nous les avons situés dans le contexte de leur fonctionnalité, c'est-à-dire que nous avons considéré les interactions qui se produisent entre les divers phénomènes à l'intérieur des systèmes technologiques d'énergie des fluides, et nous avons identifié leur interdépendance et dégagé la trame et la structure de ces concepts.

Dans un second chapitre, nous avons caractérisé, à l'aide d'une recherche qualitative de type piagétien, les représentations conceptuelles des élèves ayant complété une formation formelle (en milieu scolaire) en énergie des fluides, relativement aux concepts centraux issus de l'analyse du chapitre précédent. Nous avons comparé ces représentations à celles admises scientifiquement et cherché à produire une description des faux concepts qu'elles sous-tendent. Aussi, nous avons exploré la question de l'origine épistémologique des représentations erronées afin de déterminer si elles découlent, par exemple, de fausses analogies, de faux modèles, ou encore si elles constituent de simples applications abusives de notions placées hors contexte.

Au troisième chapitre, nous avons esquissé une analyse des stratégies didactiques dans le but de dégager les éléments clés que devrait comporter une éventuelle intervention susceptible de corriger les représentations naïves des élèves. Nous avons tenté d'établir la correspondance entre, d'une part, les caractéristiques des approches didactiques, le type d'habiletés qu'elles contribuent le plus à développer et le contexte dans lequel s'effectuent les apprentissages et, d'autre part, les exigences qui

découlent de notre diagnostic de la situation globale, à la suite de la caractérisation des représentations conceptuelles des élèves.

Finalement, dans la conclusion, nous présenterons quelques considérations d'ordre général découlant de cette recherche et nous aborderons la question des limites de sa portée. Nous conclurons en formulant quelques suggestions à l'intention des enseignants qui se sentiraient intéressés par les principaux thèmes abordés dans ce rapport.

CHAPITRE I

L'ANALYSE CONCEPTUELLE DE L'ÉNERGIE DES FLUIDES

Dans ce chapitre, nous exposons, premièrement, ce qu'est l'énergie des fluides, son champ disciplinaire et les disciplines connexes. Deuxièmement, nous aborderons la question de l'analyse conceptuelle ; nous traiterons des travaux existants dans ce domaine et nous exposerons l'approche que nous avons adoptée, basée sur deux perspectives complémentaires : les exigences intrinsèques de la discipline et les tâches reliées à une fonction de travail. Ceci nous amènera à traiter des fondements épistémologiques de la discipline et à établir des liens avec les types de tâches propres aux techniciens. Finalement –et surtout– nous analyserons les fonctions technologiques réalisées par les systèmes d'énergie des fluides et nous présenterons un ensemble de modèles explicatifs qui explicitent les liens entre ces fonctions et les divers concepts qui sont mis à contribution.

I. QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE DES FLUIDES ?

L'énergie des fluides est une discipline technologique dont la finalité est de produire des systèmes de transmission d'énergie, destinés à actionner des équipements et machines de toutes sortes. Mieux connue sous l'appellation *hydraulique et pneumatique,* ses domaines d'application s'étendent, dans l'industrie, notamment aux machines à injecter le plastique, aux machines-outils automatisées et aux presses ; dans l'aéronautique, aux actionneurs des trains d'atterrissage, des ailerons, des gouvernails et des volets stabilisateurs ; dans les équipements de chantier, miniers et de ressources naturelles, aux pelles mécaniques, chargeurs, foreuses, convoyeurs et appareils de manutention divers ; dans la marine, aux grues, treuils et commandes de gouvernail, pour ne citer que quelques exemples,

Les systèmes d'énergie des fluides se présentent, la plupart du temps, sous forme de systèmes autonomes de transmission d'énergie. Ils sont formés d'un ensemble de composants ayant chacun un rôle spécifique dans la fonction globale du système, à l'intérieur duquel se produisent des interactions dynamiques entre les divers composants.

L'énergie des fluides est une partie de la mécanique, elle-même étant une branche de la physique. Elle comprend deux aspects distincts, quoique proches du point de vue des concepts mis à contribution : l'hydraulique et la pneumatique. La première utilise un fluide pratiquement incompressible (un liquide), généralement l'huile, comme moyen transmetteur de l'énergie, tandis que la deuxième utilise un fluide compressible (un gaz), généralement l'air.

Ainsi, les systèmes hydrauliques et pneumatiques servent, nous l'avons dit, à actionner des machines et appareils divers. Ils constituent, à cet égard, la partie «musculaire» de la machine, c'est-à-

dire, le système de puissance. Leur action est généralement contrôlée par le système de commande, lequel constitue la partie «nerveuse». D'ailleurs, cette distinction est semblable à celle que l'on fait en électricité. Précisons que les systèmes de commande peuvent relever de la technologie mécanique, hydraulique, pneumatique, électrique, électronique, voire manuelle ou mixte. Plus récemment sont venus s'ajouter les systèmes de commande informatiques. Précisons aussi qu'il n'existe pas de frontière nette entre les deux aspects de système de puissance et de commande, dans la mesure où, dans de nombreuses applications, les deux s'imbriquent et se confondent, particulièrement lorsqu'ils sont de même technologie.

Il en découle que les disciplines connexes à l'énergie des fluides, c'est-à-dire les disciplines que les intervenants auront à côtoyer, sont celles que l'énergie des fluides sert et celles qui la servent. En d'autres mots, puisque l'énergie des fluides sert à actionner des machines, la mécanique sera une discipline connexe, notamment la cinématique, la dynamique, la résistance des matériaux, les organes de machines, la technologie de construction et le dessin technique, d'autant plus que les composants d'énergie des fluides sont, eux-mêmes, construits d'organes surtout mécaniques. D'autre part, l'énergie des fluides utilise des systèmes de commande; à cet égard, les disciplines connexes seront, notamment, l'électricité et l'électronique (circuits à relais, circuits logiques, asservissements) et l'informatique (automates programmables, logiciels de commande, interfaces, etc.).

II. POURQUOI UN SYSTÈME D'ÉNERGIE DES FLUIDES?

En fait, tous les systèmes de transmission d'énergie, qu'ils soient hydrauliques, mécaniques, électriques[1] ou autres, sont destinés à actionner des machines et équipements divers. Dès lors, des questions se posent : Quand faut-il utiliser l'un ou l'autre ? Qu'est ce qui constitue la spécificité de chacun ? Quels sont les critères de choix ?

Précisons d'abord qu'il n'existe pas de réponse unique et, encore moins, absolue à ces questions. En fait, il peut y avoir plusieurs solutions fonctionnelles pour un même problème ou situation. Il s'agit plutôt de voir laquelle d'entre elles convient le mieux à l'application considérée.

Il est possible, cependant, d'identifier quelques grands paramètres susceptibles de circonscrire cette problématique. Nous avons vu que, selon le type de machine considéré, la répartition de l'énergie était différente et qu'elle pouvait varier selon le contexte d'application. En fait, ce contexte conditionne fortement la manière dont le travail doit se réaliser. Il en résulte la nécessité de contrôler le flux d'énergie à transmettre.

---

[1] À proprement parler, il existe peu de systèmes purement électriques. Il s'agit plutôt de systèmes mécaniques actionnés ou commandés par des moyens électriques. Il conviendrait alors de parler de systèmes électromécaniques.

La production du travail utile est conditionnée aussi par l'application envisagée. Ainsi, par exemple, un flux d'énergie très important pourra causer des accélérations trop brusques qui provoqueront une détérioration prématurée (usure, bris) des organes de la machine. Imaginons les inconvénients d'un monte-charge qui accélère et freine trop brusquement. Pensons aussi à une presse qui, lors d'un travail délicat, doit appliquer lentement une faible force, tandis que, à un autre moment, elle devra produire rapidement de grands efforts. Autrement dit, le flux d'énergie doit pouvoir s'ajuster à l'application envisagée. Il existe donc une grande diversité de besoins en termes de rapidité des mouvements et d'intensité des efforts à réaliser, non seulement pour chaque type de machine mais aussi selon la nature du travail effectué.

Nous pourrions parler de la nécessité de varier, pour ainsi dire, le débit d'énergie à transmettre[2], c'est-à-dire d'adapter la vitesse et l'intensité avec laquelle elle sera transmise à la machine, afin que celle-ci puisse l'absorber adéquatement et produire tout aussi adéquatement son travail.

Or, c'est précisément sur la capacité d'un système d'adapter le flux d'énergie aux besoins de l'application que se basent les critères de choix évoqués précédemment.

De manière générale, on peut dire que, par leur nature, les principaux types de moteurs (électriques et à combustion interne) possèdent une plage de vitesses de rotation optimale qui est rarement utilisable telle quelle. La plupart des applications exigent une transformation à la baisse de cette vitesse que l'on pourrait qualifier de «naturelle». Il en découle la nécessité d'utiliser des réducteurs de vitesse mécaniques. Aussi, lorsque la vitesse finale recherchée n'est pas constante, on doit utiliser, soit une boîte de vitesses à rapports fixes, soit un variateur de vitesses progressif.

Par ailleurs, ces moteurs, en raison de l'inertie qu'ils impliquent, supportent mal les arrêts et départs fréquents ainsi que les inversions répétées du sens de rotation, particulièrement sous charge, d'où la nécessité d'utiliser des embrayages pour adoucir les accélérations. D'autres problèmes surgissent si le mouvement de la machine rencontre des obstacles imprévus. Il se produit alors des surcharges excessives pouvant provoquer des bris, à cause notamment des inerties de l'ensemble des mécanismes.

Finalement, si le travail utile nécessite un mouvement linéaire, il faudra convertir le mouvement rotatif des moteurs au moyen d'un mécanisme de type bielle-vilebrequin, avec des cames, etc.

Dans l'ensemble, tous ces mécanismes peuvent s'avérer trop dispendieux, voire trop lourds, peu fiables et même d'un fonctionnement insatisfaisant, lorsque plusieurs conditions difficiles sont réunies. Dès lors, il y a lieu de prendre en considération la solution d'un système hydraulique. Ces conditions peuvent, pour l'essentiel, se résumer ainsi:

---

(2) Il s'agit, à proprement parler, de puissance à transmettre. Cependant, l'usage du terme «énergie» est plus répandu chez les praticiens.

1- La machine doit fonctionner dans une vaste gamme de vitesses, de forces et de couples variables

2- L'intensité de la force et la vitesse doivent s'ajuster finement selon l'application

3- La machine doit inverser fréquemment son sens de mouvement.

4- La machine doit être protégée contre des surcharges éventuelles, autant résistantes que menantes

5- Le fonctionnement de la machine fait appel à une réserve d'énergie pour utilisation ponctuelle ou en cas de panne

6- La machine doit appliquer des forces importantes avec un encombrement réduit au point d'application

7- La machine doit fonctionner dans des environnements hostiles (températures extrêmes, milieux inflammables, acides, immergés, etc.)

Ces conditions peuvent être difficilement remplies avec les systèmes mécaniques ou électromécaniques, essentiellement à cause des inerties trop importantes qu'ils impliquent et du manque de sensibilité et de souplesse des mécanismes destinés à ajuster la vitesse et la force.

Les systèmes hydrauliques n'impliquent que de très faibles inerties additionnelles à celles de la machine. Elles se limitent à celles d'une faible partie du fluide et aux quelques pièces en mouvement (par exemple, le piston et la tige dans le cas d'un vérin). L'inertie des autres composants (surtout celle du moteur électrique et celle de la pompe), n'est généralement pas en cause puisque le système n'exige pas qu'ils soient stoppés lorsque la machine s'arrête.

Pour ce qui est de la capacité d'ajuster la force et la vitesse, l'une et l'autre se font aisément et avec précision. La force s'ajuste en limitant la pression du fluide. La vitesse s'ajuste en réglant le débit qui passe par le vérin (ou par le moteur), ou encore en modulant le débit fourni par une pompe à cylindrée variable. Finalement, certaines caractéristiques des systèmes hydrauliques, particulièrement celles concernant leur capacité de travailler dans des environnements hostiles, sont inhérentes au principe de fonctionnement et à la technologie de construction des composants.

III. LES DÉVELOPPEMENTS TECHNOLOGIQUES EN ÉNERGIE DES FLUIDES

Depuis une dizaine d'années, l'évolution technologique de l'énergie des fluides et des disciplines connexes a donné naissance à une nouvelle génération de composants. Pour ce qui est de l'hydraulique, les composants de puissance proprement dits se sont raffinés afin d'accroître la sensibilité des réglages ainsi que le rendement énergétique, ce qui a conduit à l'utilisation de plages de pression plus hautes. Ces facteurs combinés permettent de construire des systèmes dont le rendement énergétique global peut atteindre 90%, voire 95%. D'autre part, un nouveau volet technologique est venu s'ajouter aux systèmes hydrauliques conventionnels : l'hydraulique proportionnelle. À mi-chemin entre les systèmes de puissance et les systèmes de commande, l'hydraulique proportionnelle apporte une nouvelle dimension permettant de réaliser des systèmes de puissance avec la partie de commande intégrée, dont les caractéristiques de fonctionnement s'approchent de celles des systèmes asservis, à des coûts bien inférieurs. De ce fait, de nombreuses applications dont les exigences de fonctionnement ne justifient pas l'utilisation d'un asservissement, peuvent désormais trouver une solution techniquement et économiquement adéquate.

Pour ce qui est de la pneumatique, les développements technologiques ont permis l'avènement de composants miniaturisés, conçus pour réaliser des circuits de commande à des faibles coûts. De ce fait, un champ traditionnellement occupé quasi exclusivement par la technologie électromagnétique (circuits à relais) est venu s'ajouter. Ceci s'est concrétisé par l'ajout de cours d'automatismes aux programmes de formation en technologie de la mécanique et, au niveau des équipements de laboratoire, par la venue des automates programmables, domaine traditionnellement réservée à l'électrotechnique. Cet aspect constitue un exemple de l'intégration grandissante des technologies dont nous parlions précédemment. Il illustre, aussi, la nécessité de faire acquérir aux élèves une structure conceptuelle fondamentale transférable et qui transcende les exigences d'une seule discipline.

IV. L'ANALYSE CONCEPTUELLE

Depuis une dizaine d'années, la question des difficultés d'apprentissage qu'éprouvent les élèves, face à la formation techno-scientifique que nous évoquions dans l'introduction générale, s'est trouvée au coeur des préoccupations des divers intervenants en éducation et a inspiré de nombreuses recherches en didactique. Plusieurs d'entre elles (Driver et al., 1985; Giordan et de Vecci, 1987 b ; Kariotogloy et al., 1990) ont exploré les causes de ces difficultés d'apprentissage à travers la problématique posée par les représentations erronées des élèves à l'égard des concepts scientifiques de base. Pour notre part, au cours de travaux antérieurs (Youssef et al. 1991 ; Cervera et al. 1991), nous avons exploré ce phénomène et avons identifié quelques représentations des élèves concernant certains concepts reliés à

l'énergie des fluides. Toutefois, ces travaux, à caractère surtout exploratoire, ne couvraient pas l'ensemble des concepts de la discipline.

Mais, précisément, quel est l'ensemble de ces concepts, lois et principes mis à contribution en énergie des fluides ? Quels sont les concepts qui fondent cette discipline ? Dans quelles ciirconstances sont-ils nécessaires pour l'exercice d'une fonction de travail ? Quelle est la structure, la trame, et quels sont les liens d'interdépendance qui sous-tendent ces concepts ? Telle est la nature des questions auxquelles on à tenté d'apporter des réponses par cette analyse conceptuelle. À notre connaissance, pour ce qui est de l'ordre collégial, l'identification de cet ensemble de concepts n'a fait l'objet d'aucune étude systématique et elle n'est pas disponible ni explicite dans les manuels, qu'ils soient à vocation d'enseignement ou plus spécialisés, ni dans les programmes ministériels. Encore moins explicites sont la structure conceptuelle de la discipline et les niveaux de maîtrise que doivent atteindre les élèves.

Cette situation contribue, nous en sommes persuadés, au fait que bon nombre des concepts qui fondent l'énergie des fluides ne font l'objet que d'un enseignement superficiel, comme si leur compréhension par les élèves allait de soi. Ils sont souvent abordés dans une optique de contribution accessoire par rapport aux contenus technologiques. Il en découle que les liens nécessaires entre la science et la technologie sont faiblement établis, de sorte que l'élève n'est pas en mesure de les percevoir. Pourtant, on peut affirmer que, à bien des égards, la technologie est une opérationnalisation de la science, une réalisation concrète de celle-ci, à des fins utilitaires. En ce sens, la technologie bénéficie nécessairement de la contribution de la science et elle ne saurait pas s'expliquer indépendamment ou extérieurement à celle-ci. Il en découle que les concepts mis à contribution dans une discipline technologique peuvent et doivent bénéficier de l'éclairage scientifique. Bien entendu, il convient de tenir compte des divers niveaux explicatifs possibles d'un même concept scientifique et de faire appel à celui qui, dans un contexte donné, s'avère le plus adéquat. Ainsi, pour donner un exemple général, concernant l'enseignement collégial, les concepts de la mécanique newtonienne devraient s'avérer plus accessibles, plus fertiles –et néanmoins suffisants– que les concepts einsteiniens.

Pour ce qui est de l'intérêt de clarifier la structure conceptuelle de la discipline afin de la rendre explicite et accessible à l'élève, elle nous apparaît comme un élément important permettant d'améliorer l'apprentissage des disciplines techno-scientifiques. D'une part, la connaissance de cette structure devrait permettre à l'élève de construire une vue d'ensemble plus cohérente et unifiée de la matière, en favorisant notamment la création de liens entre les concepts. D'autre part, l'élève devrait être en mesure de mieux identifier l'importance relative des concepts et de mieux en saisir la portée et le degré de maîtrise nécessaire. Par ailleurs, chez les enseignants, la référence à cette structure conceptuelle serait de nature à susciter une meilleure réflexion quant à l'organisation des stratégies d'apprentissage et permettrait d'atteindre l'essentiel de la discipline. C'est pourquoi, dans cette recherche, nous accordons la plus haute importance à établir la structure conceptuelle de la discipline.

V. L'ANALYSE CONCEPTUELLE : LES TRAVAUX EXISTANTS

De nombreux travaux font ressortir l'importance centrale qu'il convient d'accorder à la structure conceptuelle de la discipline. Déjà, dans les années soixante, les travaux de Schwab (1962), suivi dans les années 70 par De Rosnay (1975) et par Le Moigne (1977), ont illustré l'intérêt d'aborder les concepts scientifiques selon une structure cohérente de la discipline.

Voici en quels termes Audigier et al. (1991) expriment l'intérêt et l'utilité de clarifier cette structure conceptuelle :

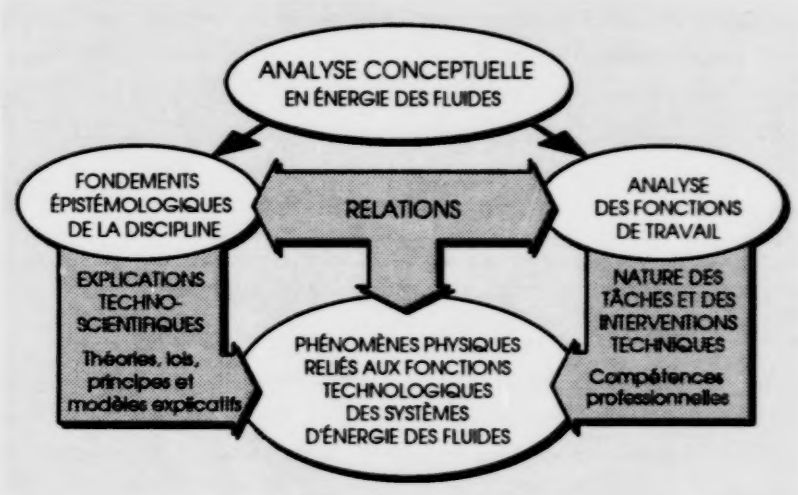
> *«L'idée de trame conceptuelle est ancienne. Elle est née en didactique des sciences et a, jusqu'à présent, été utilisée surtout dans ce domaine. Elle est une façon de présenter les concepts non comme une succession d'énoncés, de définitions séparées les unes des autres, mais comme un ensemble de notions et d'énoncés liés entre eux et organisés en réseau. Dans un premier temps, ces trames sont un outil pour analyser le savoir de référence, mettre en évidence les relations entre les concepts et montrer les grandes réorganisations des savoirs. Dans un second temps, elle est un outil didactique contribuant à l'analyse des représentations des élèves, permettant une gestion plus rigoureuse des apprentissages et facilitant la détermination des objectifs.»* (p. 78)

Paradoxalement, très peu de travaux ont été faits à ce jour en ce sens, ce qui explique que nous n'avons guère trouvé d'informations, notamment quant à la manière de conduire une telle analyse conceptuelle. Les quelques rares travaux recensés sont peu explicites à cet égard. Parmi les plus significatifs par rapport aux disciplines de l'enseignement professionnel, citons particulièrement ceux de Gagnon et al. (1988 et 1989) et ceux de Leclerc et al. (1992). Ces travaux font ressortir, notamment, les concepts qui sont évoqués de manière explicite ou implicite dans les programmes ministériels, à partir de la formulation des objectifs de formation. Cependant, il convient de mentionner que ces travaux sous-tendent l'hypothèse selon laquelle il y aurait une bonne adéquation entre les programmes et les fonctions de travail. Conséquemment, ils n'établissent pas systématiquement de liens entre la structure conceptuelle de la discipline et les concepts qui sont mis à contribution dans une situation de travail, tout comme ils n'explorent pas les exigences intrinsèques de la discipline à partir des phénomènes inhérents aux fonctions technologiques que réalisent les systèmes.

Par ailleurs, ces travaux concernent des programmes d'études du secteur professionnel de l'ordre secondaire, lesquels sont formulés en termes d'objectifs généraux, eux-mêmes décomposés en objectifs terminaux, intermédiaires et spécifiques, ces derniers étant reliés aux contenus d'apprentissage. Autrement dit, pour ces travaux, on disposait d'un matériel de départ relativement abondant et qui, pour le moins, constituait une base de référence proche des enseignements dispensés. En ce qui nous concerne, nous ne disposions pas d'un tel matériel de départ.

VI. NOTRE APPROCHE DE L'ANALYSE CONCEPTUELLE

Notamment à cause de la situation que nous venons d'exposer, nous avons plutôt adopté une approche basée sur l'étude de la pratique de la profession. Ceci nous a conduits à analyser la discipline suivant deux points de vue complémentaires : d'une part, en identifiant les tâches reliées à une fonction de travail dans le domaine, puis en explicitant les relations qui existent entre les phénomènes physiques qui se produisent dans les systèmes d'énergie des fluides et la nature des interventions que doivent réaliser les techniciens, et, d'autre part, en cherchant à déterminer les exigences intrinsèques de la discipline, c'est-à-dire, en établissant les relations entre ces phénomènes et les concepts, lois et modèles explicatifs de la discipline. Le schéma suivant illustre ces deux perspectives.



VII. LES FONDEMENTS ÉPISTÉMOLOGIQUES DE L'ÉNERGIE DES FLUIDES

A. PÉRIODE PRÉ-PARADIGMATIQUE

Les premiers pas connus de l'humanité dans le domaine de l'hydraulique remontent, apparemment, à l'époque grecque. Archimède énonça, vers l'an 250 avant notre ère, le principe qui porte son nom et qui établit le lien entre le poids d'un corps et celui du volume de fluide qu'il déplace. Ctésibios, contemporain d'Archimède et fondateur de l'école d'Alexandrie, inventa la pompe aspirante et refoulante, véritable ancêtre des pompes volumétriques à pistons d'aujourd'hui. Quatre siècles plus tard, Héron, de la même école, mit en évidence l'énergie de la vapeur avec l'éolipile (sorte de moulinet à réaction). Selon toute

vraisemblance cependant, les Grecs ne sont pas parvenus à élucider un bon nombre des principes sous-tendant le fonctionnement des inventions issues de cette période fertile. Citons, par exemple, le rôle de la pression atmosphérique (et son complément, le vide), lors du remplissage des pistons de la pompe de Ctésibios ainsi que le principe d'action et réaction et autres phénomènes liés à la production de la vapeur, inhérents au fonctionnement de l'éolipile de Héron.

On connaît peu la genèse de ces premières inventions[3] . Elles semblent être le fruit d'étincelles de lumière, de génie créateur, stimulées par un contexte particulier, comme celui qui prévalait à l'académie d'Alexandrie sous les Ptolémées.

Ainsi, les Grecs n'ont pas réussi à établir les bases théoriques sous-tendant les systèmes précités. Il appartiendra à Torricelli, Pascal, Newton, Bernouilli... de créer les concepts techno-scientifiques indispensables au développement des modèles sophistiqués.

> *«Les anciens Grecs (Archimède, Héron, Ctésibios) s'intéressèrent sans doute à l'écoulement des liquides, mais leurs connaissances ne dépassaient pas celles d'un bon ouvrier spécialisé d'aujourd'hui. C'est incontestablement Torricelli, qui inaugura l'hydrodynamique, en se limitant (sans pouvoir le préciser nettement) au cas des liquides parfaits(...)»* (Boll, 1961, pp. 90-92).

B. PÉRIODE PARADIGMATIQUE

Il est intéressant de constater que ces inventions et les applications auxquelles elles ont donné lieu n'ont pratiquement pas évolué, malgré quelques raffinements, pendant près de deux mille ans, c'est-à-dire jusqu'aux travaux de Otto de Guericke, au XVII[e] siècle, avec son expérience des hémisphères (au cours de laquelle il utilisa le principe de la pompe de Ctésibios pour faire le vide), puis de Torricelli, avec son baromètre de mercure, et de Pascal, avec ses expériences du tonneau et du puy de Dôme. Peu après, Newton établissait les lois générales de la mécanique et Bernouilli les appliquait à l'hydrodynamique, tandis que Watt établissait le principe de la régulation par rétroaction et l'appliquait à la machine à vapeur qui allait devenir le moteur de la révolution industrielle.

Ces découvertes, réalisées dans une période de quelque 150 années, constituent un bond gigantesque dans la connaissance scientifique formelle qui stagnait au même point où l'avaient laissée les Grecs. Elles ont permis d'établir les fondements d'une structure conceptuelle cohérente autour de phénomènes tels le vide, la pression atmosphérique, la compressibilité des gaz, l'incompressibilité des liquides, et, d'une manière plus générale, les lois de l'hydrostatique et de la mécanique des fluides.

---

(3) Le lecteur intéressé peut trouver d'excellentes descriptions sur l'histoire des sciences et des technologies dans les ouvrages de Bruno Jacomy, *Une histoire des techniques*, Éditions du Seuil, Paris, 1990, et de Bertrand Gille, *Les mécaniciens Grecs: la naissance de la technologie*, Éditions du Seuil, Paris, 1980.

C. RELATION ENTRE LA MAÎTRISE DES CONCEPTS ET LES RÉALISATIONS TECHNOLOGIQUES

Nous pouvons assurément établir des liens, pour une époque donnée, entre la compréhension des concepts scientifiques autour des phénomènes physiques qui sous-tendent le fonctionnement des divers appareils, et les applications qui se développent autour de ces mêmes appareils. Ainsi, ce n'est qu'à la lumière des développements conceptuels intervenus au XVII^{e} siècle que les applications concrètes de l'hydraulique et de la pneumatique ont vu le jour et se sont multipliées, et que les perfectionnements technologiques sont intervenus de manière régulière et systématique.

À titre d'exemple de l'incidence de la maîtrise des concepts scientifiques sur les réalisations technologiques, pensons aux imposants travaux de construction d'aqueducs laissés par les Romains, tels celui du Gard, en France, ou de Ségovie, en Espagne. Essentiellement ces constructions monumentales servaient à permettre à l'eau qui alimentait les villes, de franchir, par simple gravité, suivant une pente douce, des obstacles topographiques tels ravins et rivières. Imaginons si, à cette époque, on avait maîtrisé le concept des vases communicants : ces constructions auraient pu être remplacées simplement par un conduit forcé franchissant l'obstacle et reliant les conduits à ciel ouvert de chaque coté de l'obstacle. Bien qu'il soit trop facile, après coup, de porter un regard critique sur les événements qui ont jalonné l'histoire, cet exemple illustre les liens qui existent entre les concepts connus à une époque donnée et la nature des réalisations technologiques.

Par extension, dans le contexte techno-scientifique d'aujourd'hui, on peut penser que, dans une certaine mesure, le degré de maîtrise des concepts qui sous-tendent le fonctionnement des divers systèmes technologiques conditionne fortement la nature et la qualité des applications que l'on fait de ces systèmes. Bien entendu, en ce qui concerne notre sujet d'étude, soit l'enseignement de l'énergie des fluides au collégial, on ne saurait s'attendre à ce que le travail d'un technicien conduise, en premier lieu, à de nouvelles découvertes ou inventions. On lui demandera cependant d'appliquer des technologies connues, de les adapter à des situations diverses, ou encore de proposer des solutions alternatives ou des mesures susceptibles d'optimiser une situation existante. La richesse de la structure conceptuelle qu'il mettra alors à contribution déterminera fortement la qualité des applications qui en résulteront.

VIII. L'ANALYSE DES FONCTIONS DE TRAVAIL

Afin de déterminer les concepts et principes fondamentaux qui sont mis à contribution en énergie des fluides, il convient, aussi, d'analyser la disciplines sous l'angle de la pratique professionnelle. Il s'agit alors d'identifier la nature des tâches qui sont réalisées dans un contexte technique.

À cet effet, nous constatons l'absence généralisée de précisions dans les *Cahiers de l'enseignement collégial* quant à la nature même des tâches qui sont généralement dévolues aux

techniciens diplômés, non seulement au chapitre spécifique de l'énergie des fluides, mais aussi de manière générale, sans égard à la discipline considérée. Toutefois, cette situation serait en voie de redressement dans la mesure où les programmes qui font l'objet d'une révision majeure depuis 1990 explicitent ces tâches, comme c'est le cas pour le nouveau programme d'électrotechnique.

Ainsi, afin de circonscrire le contexte des travaux, nous avons analysé les tâches qui sont généralement dévolues aux techniciens en génie mécanique, tout en considérant qu'ils ne sont pas des spécialistes en énergie des fluides. Parmi les divers cours reliés à cette discipline dans les programmes de *Technologie de la mécanique* des *Cahiers de l'enseignement collégial*, nous avons choisi de traiter plus spécifiquement des tâches auxquelles prépare le cours *Énergie des fluides 241-520* du programme des *Techniques de génie mécanique*. Les raisons suivantes justifient ce choix : 1- Il s'agit du cours ayant la plus longue durée, soit 90 heures, alors que les autres comportent 75 ou 60 heures. Cela implique que son contenu est plus complet. 2- Il couvre les deux volets qui constituent l'énergie des fluides, soit l'hydraulique et la pneumatique. 3- Le cours ne comporte pas des prérequis dans le domaine. 4- C'est un cours obligatoire du programme qui couvre les notions scientifiques et techno-scientifiques de base, les principes de fonctionnement des composants ainsi que l'analyse et la conception de circuits industriels d'une relative complexité. En bref, on peut affirmer qu'un élève qui maîtriserait l'ensemble des concepts couverts dans ce cours aurait une bonne connaissance de base du domaine de l'énergie des fluides.

L'annexe I présente l'information disponible dans les *Cahiers de l'enseignement collégial* concernant les objectifs du programme des *Techniques de génie mécanique* ainsi que celle concernant le cours *Énergie des fluides 241-520*.

Par ailleurs, nous avons analysé les données contenues dans les *Répertoires des profils de formation professionnelle* et dans les *Répertoires des éléments de connaissance par unités modulaires* du *secteur des fabrications mécaniques* (1984) et du *secteur de l'entretien mécanique* (1990). Ces publications du Ministère de l'éducation constituent un inventaire des activités du monde du travail et des capacités exigées pour y évoluer idéalement.

À partir de toutes ces références, il nous a été possible d'établir, dans une certaine mesure, des liens entre les fonctions-types reliées à ces secteurs et des tâches reliées à l'énergie des fluides, puis de déterminer l'ensemble des connaissances et des habiletés reliées à ces tâches.

L'annexe II présente ces liens. Précisons que nous n'avons retenu que les tâches ayant un lien direct avec l'énergie des fluides.

Pour sa part, la *Classification canadienne descriptive des professions* (1971) décrit en ces termes les activités professionnelles des techniciens spécialistes en génie mécanique: «*seconder les ingénieurs [...] dans la recherche, la conception et la mise au point de nouveaux produits, la conception de systèmes et des méthodes de production [...]*». Aussi, on identifie surtout des tâches relatives à la réparation et à

l'entretien, ainsi que quelques unes reliées à la conception : «*Modifier des équipements des machines...*» ainsi qu'à l'utilisation de systèmes (surtout hydrauliques, puisque reliés aux presses) : «*Effectuer des essais...*», «*Établir le cycle des opérations*». Dans l'ensemble cependant, les tâches reliées à l'énergie des fluides sont inscrites en complémentarité à d'autres, plus générales, qui caractérisent d'avantage les fonctions-types étudiées. En résumé, ces données situent les grands paramètres des tâches techniques, mais ne nous éclairent guère quant à la nature de celles reliées spécifiquement à l'énergie des fluides.

Par ailleurs, une difficulté majeure, en ce qui concerne l'objectif que nous poursuivons, vient du fait que ni les données des *Profils de formation professionnelle* ni celles de la *Classification canadienne descriptive des professions,* ne sont spécifiques à un ordre d'enseignement particulier. En fait, ces données présentent une certaine réalité des pratiques en vigueur dans l'industrie et des éléments de connaissance correspondants. Ces documents ne constituent d'aucune manière le reflet des programmes de formation et ils ne font aucune distinction quant à l'ordre d'enseignement que sous-tendent les connaissances.

Aussi, nous devons exprimer deux réserves par rapport à ces données : d'une part, elles illustrent ce qui se fait, compte tenu de ce qui est disponible ; en d'autres mots, elles décrivent les pratiques professionnelles, lesquelles sont modelées en fonction des ressources et compétences existantes. D'autre part, encore faut-il que ces pratiques soient un reflet assez fidèle de l'état d'avancement des connaissances dans le domaine ; autrement dit, il peut exister des écarts importants entre les pratiques professionnelles dans un contexte donné et les possibilités offertes par l'état d'avancement d'une technologie.

A. NATURE DES TÂCHES TECHNIQUES

À partir de l'ensemble des données précédentes, malgré les limitations et réserves qu'elles imposent, nous estimons pouvoir dégager la nature des tâches qui sont généralement dévolues aux techniciens dans la discipline qui nous intéresse. Elles concernent trois grands domaines : la conception, le montage et l'entretien de systèmes d'énergie des fluides.

Ci-après, nous développons succinctement les principaux éléments qui composent ces tâches. L'annexe III en présente une analyse plus complète. À notre avis, les formulations retenues décrivent de manière relativement fine les divers éléments, de sorte qu'elles peuvent facilement s'adapter pour devenir des objectifs généraux et spécifiques de formation.

Bien entendu, l'exercice de ces tâches comprend de nombreuses autres compétences que celles reliées spécifiquement à l'énergie des fluides, notamment des compétences reliées à la fabrication, à la lecture de plans et devis et, plus généralement, au montage et à l'entretien mécanique, au sens large.

1. CONCEPTION, MODIFICATION ET ADAPTATION DE SYSTÈMES

Il s'agit de tâches reliées à la conception de systèmes d'énergie des fluides, pour des applications courantes, mais pouvant présenter un certain degré de complexité, c'est-à-dire des tâches conduisant à l'élaboration de solutions cohérentes et fonctionnelles à des problèmes techniques pour lesquels la contribution soutenue d'un spécialiste n'est pas normalement nécessaire. Ces tâches comportent les principaux éléments suivants:

- Déterminer les paramètres et les conditions de fonctionnement du système ;
- Concevoir le circuit du système et en élaborer le diagramme ;
- Déterminer les caractéristiques et les spécifications des composants du système ;
- Élaborer les plans et devis d'implantation et de fonctionnement du système.

2. MONTAGE, RÉGLAGE ET MISE AU POINT DE SYSTÈMES

Il s'agit de tâches reliées à l'implantation et à la mise au point de systèmes, à partir de plans et devis, c'est-à-dire qu'il s'agit de procéder au montage des composants et des conduits, et d'effectuer les réglages de fonctionnement. Ces tâches comportent les principaux éléments suivants:

- Assembler les divers composants d'un système ;
- Effectuer les opérations, réglages et mises au point, selon les spécifications, notamment lors de la mise en route des systèmes.

3. ENTRETIEN ET RÉPARATION DE SYSTÈMES

Il s'agit de tâches visant à diagnostiquer et à remédier aux troubles de fonctionnement des systèmes et à en assurer le bon fonctionnement, notamment par des mesures d'entretien préventif. Ces tâches comportent les principaux éléments suivants:

- Déceler les troubles de fonctionnement ;
- Diagnostiquer les causes de mauvais fonctionnement ;
- Réparer et reconditionner les composants ;
- Vérifier les performances du système en regard des spécifications
- Assurer l'entretien préventif du système.

Nous conviendrons volontiers à l'effet qu'une majorité de techniciens se verront confier surtout des tâches reliées à l'entretien et à la réparation. Il n'en demeure pas moins, cependant, que celles reliées à la conception et au montage de systèmes leur sont aussi dévolues. Par ailleurs, nous sommes fortement convaincus que, pour effectuer correctement et intelligemment l'entretien et la réparation, c'est-à-dire pour faire l'analyse-diagnostic des problèmes de fonctionnement, pour y remédier et pour optimiser les systèmes d'énergie des fluides, il est nécessaire, voire indispensable, de bien maîtriser les tâches des trois grands domaines présentés.

IX. LES EXIGENCES INTRINSÈQUES DE LA DISCIPLINE.

En complémentarité avec l'analyse des tâches de la fonction de travail, nous avons cherché à identifier les concepts et lois scientifiques qui sous-tendent et qui expliquent les divers phénomènes qui se produisent dans les systèmes hydrauliques et pneumatiques lors de la réalisation des fonctions technologiques. En d'autres mots, nous avons étudié la discipline de manière à rendre intelligibles ses exigences intrinsèques, à partir, bien entendu, du contexte technologique dévolu aux techniciens de l'ordre collégial. Nous avons cherché à établir la trame des concepts et leur articulation. Pour ce faire, nous avons analysé les fonctions technologiques réalisées par les systèmes d'énergie des fluides. Ainsi, nous avons défini et décrit ces fonctions et identifié les composants qui sont mis à contribution pour les réaliser. Par la suite, nous avons défini leurs rôles spécifiques et, finalement, développé les modèles explicatifs qui les sous-tendent. Ces derniers aspects ont nécessité un développement pratiquement intégral de notre part car, contrairement à la situation qui prévaut pour d'autres disciplines (électricité et électronique, par exemple), dans les ouvrages d'enseignement ou spécialisées, on ne retrouve pas de définition précise et univoque du rôle des composants hydrauliques ni de modèle explicatif global de leur fonctionnalité.

Ces modèles explicatifs nous ont permis de faire ressortir les divers concepts de la discipline et de rendre intelligible sa structure. Ils sont, en tout ou en partie, inédits et ne se retrouvent pas comme tels dans les manuels. Nous travaillons présentement à compléter leur développement. En ce sens, leur présentation, ici, est un peu hâtive, car leur justification scientifique est encore incomplète. Néanmoins, nous avons choisi de les inclure (pages suivantes), car ils constituent l'assise même de notre analyse conceptuelle. Ils feront l'objet d'une présentation détaillée dans un prochain rapport de recherche qui sera consacré plus particulièrement à l'apprentissage de l'énergie des fluides selon une démarche de modélisation.

En attendant, ils devraient contribuer à expliciter la pertinence, le fondement et le contexte où chacun des concepts retenus dans cette analyse est mis à contribution. C'est la seule raison de leur présence dans ce rapport qui, rappelons-le, n'est d'aucune façon un traité sur l'énergie des fluides.

A. FONCTION D'UN SYSTÈME D'ÉNERGIE DES FLUIDES

Définir la fonction d'un système hydraulique consiste à définir sa raison d'être, la finalité pour laquelle il a été créé, son rôle, son utilité.

De manière générale, un système technologique, qu'il soit mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique ou autre, sert à établir une relation prévisible entre les actions qui s'exercent sur un appareil et le comportement attendu de cet appareil. Ces actions constituent les données. Elles sont envoyées dans le système afin que celui-ci réagisse de manière à conditionner le comportement de l'appareil. Ce comportement constitue le résultat de la fonction du système. Les données sont communiquées au système par les organes d'entrée, tandis que les résultats sont transmis à l'environnement extérieur par les organes de sortie de l'appareil. La fonction globale du système s'exprime alors par la relation qui s'établit entre les organes d'entrée et les organes de sortie. Bien entendu, selon la complexité du système considéré, la fonction globale peut se diviser en sous-fonctions. Le rôle de chaque sous-fonction consiste alors à établir une relation prévisible avec les autres sous-fonctions du système.

Ainsi, la fonction globale d'un système hydraulique, son utilité, est d'actionner des machines et équipements divers. Cette fonction globale est réalisée en fournissant à la machine l'énergie nécessaire pour effectuer ses mouvements. Elle comprend deux grandes fonctions de base : la transmission de l'énergie et la modulation de cette énergie. Une troisième fonction, auxiliaire, c'est-à-dire de servitude, est nécessaire afin d'assurer la stabilité thermique du système et le conditionnement de son fluide.

Les données sont, d'une part, le flux d'énergie disponible (transmission d'énergie) et, d'autre part, les diverses actions pouvant influencer ce flux (modulation de l'énergie). Le résultat sera exprimé par le comportement de la machine, en termes de variations de force et de couple, d'accélération, de vitesse et de régularité des mouvements.

Les trois fonctions de base se réalisent notamment au moyen des sous-fonctions suivantes:

1. SOUS-FONCTIONS RELIÉES À LA TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE:
    - 1.1. Transformation de l'énergie mécanique en énergie hydrostatique.
    - 1.2. Transformation de l'énergie hydrostatique en énergie mécanique.
    - 1.3. Distribution de l'énergie hydrostatique.
    - 1.4. Accumulation de l'énergie hydrostatique.

2. SOUS-FONCTIONS RELIÉES À LA MODULATION DE L'ÉNERGIE:
    - 2.1. Modulation de la force et du couple
    - 2.2. Modulation de la vitesse.

3. SOUS-FONCTIONS AUXILIAIRES SERVANT À ASSURER LA STABILITÉ ET LE CONDITIONNEMENT DU SYSTÈME:
   - 3.1. Stabilité thermique du système.
   - 3.2. Conditionnement du fluide.

Ces sous-fonctions sont réalisées par des organes (ou composants) dont le fonctionnement, lorsqu'ils sont connectés en réseau (ou circuit), crée des interactions entre eux de manière à répondre à la fonction globale du système.

1.1. TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE EN ÉNERGIE HYDROSTATIQUE

Cette sous-fonction s'effectue à partir du flux d'énergie mécanique transmis au système, généralement par un moteur électrique ou à combustion interne, sous forme de vitesse de rotation et de couple. Ce flux d'énergie est converti en énergie hydrostatique, sous forme de débit et de pression. Ce débit servira à alimenter le vérin ou le moteur, lequel actionnera la machine. Le mouvement de ce vérin ou de ce moteur rencontrera une résistance proportionnelle au travail à effectuer. Il en découlera une résistance à l'écoulement du liquide, qui se manifestera sous forme de pression. Il s'ensuit que, sans résistance, il n'y a ni pression ni énergie transmise, mais seulement un débit. La situation est analogue lorsque, en mécanique, il y a vitesse sans force: la puissance alors impliquée est nulle.

Cette sous-fonction est réalisée essentiellement, mais pas exclusivement[4], par les composants appelés pompes volumétriques.

LES POMPES VOLUMÉTRIQUES:

Rôle : Émettre un débit d'huile constant, sans égard à la résistance (pression) offerte à son écoulement.

Ce rôle, tel que défini, est en opposition avec la croyance très généralisée, voulant qu'une pompe produit non seulement un débit mais aussi une pression. Par ailleurs, il découle de ce rôle la nécessité, pourtant bien connue, d'accompagner toute pompe volumétrique d'un limiteur de pression (appelé aussi valve de sécurité) afin de plafonner la pression à des valeurs acceptables (évitant de causer des bris et des éclatements, soit à la pompe elle-même, soit aux autres composants).

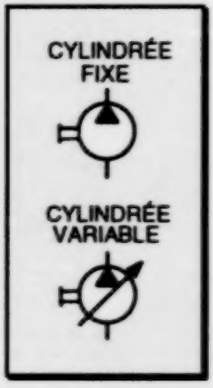
---

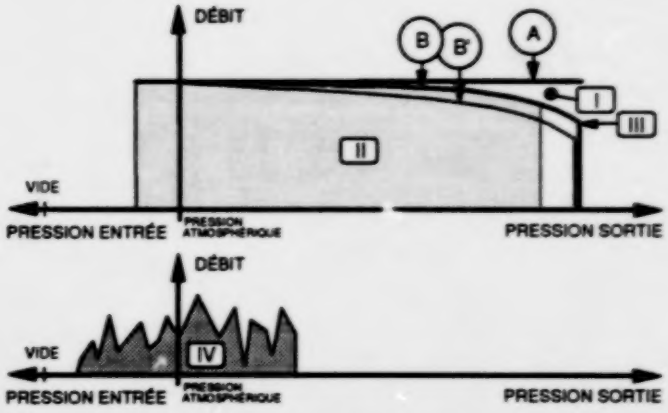
[4] Les vérins et les moteurs, selon le type de montage et les charges auxquelles ils sont soumis, peuvent exercer momentanément cette même fonction en vertu du principe de réversibilité des rôles.

Il existe une très grande variété de types de pompes et divers principes de fonctionnement. Pour l'essentiel cependant, toutes comportent une phase d'aspiration et une de refoulement. Ces deux phases se déroulent de manière confinée, c'est-à-dire à l'intérieur d'un mécanisme fermé et étanche, de telle sorte qu'à chaque cycle du mécanisme correspond un volume d'huile donné (d'où l'appellation de pompe volumétrique) qui sera aspiré, puis refoulé. La somme de ces volumes refoulés à chaque rotation de l'arbre de la pompe constitue, par définition, la cylindrée. Certaines pompes possèdent un mécanisme permettant de varier le volume de chaque cycle. Il en résulte des pompes à cylindrée variable (indûment appelées aussi à débit variable). Cependant, à une position donnée de ce mécanisme, correspond un débit constant de la pompe, conformément au rôle défini plus haut.

Précisons aussi que, lors de la phase d'aspiration, la pompe crée un volume dans lequel se forme un vide partiel, comblé aussitôt par l'huile provenant du réservoir sous l'effet de la pression atmosphérique, à l'instar du liquide qui monte dans une seringue. Encore faut-il que le conduit d'aspiration permette un écoulement libre, à défaut de quoi un vide insuffisamment comblé persisterait. Ce phénomène, appelé cavitation, produirait des hésitations importantes du débit refoulé, des coups de bélier, des variations de pression très rapides, des vibrations et, finalement, une détérioration prématurée de la pompe.

Le symbole des pompes volumétriques est présenté plus bas, à gauche, tandis que les diagrammes de droite illustrent leur comportement au moyen des courbes caractéristiques. Ils illustrent aussi la nécessité que l'aspiration d'une pompe se produise à pression proche de l'atmosphérique, sans quoi le débit sera irrégulier et des problèmes de fonctionnement se produiront.

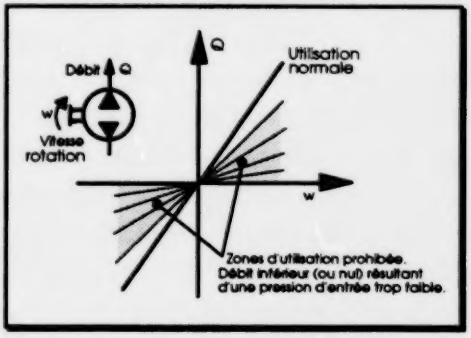




I Pertes de débit dues aux fuites internes (jeux fonctionnels entre les pièces).
II Zone d'utilisation normale (pression maxi. environ 85 % de la pression de rupture).
III Pression excessive causant la rupture.
IV Zone d'utilisation prohibée: vide trop élevé à l'entrée (cavitation), débit irrégulier, coups de bélier, bris prématuré.

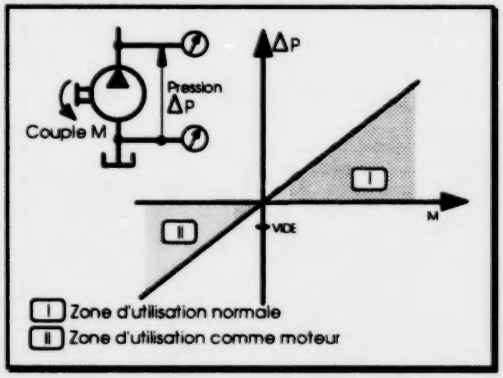
La courbe (A) correspond au composant idéal[5] (théorique). La courbe (B) est celle d'un composant réel. Elle illustre la perte de débit causée par les fuites internes qui augmentent avec la pression. La courbe (B') illustre des fuites plus importantes causées, soit par une huile moins visqueuse, soit par une pompe plus usée.

Le diagramme ci-contre illustre le lien entre la vitesse de rotation d'une pompe et son débit théorique (rendement 100 %). Il illustre aussi la réversibilité du sens de rotation inhérent à leur fonctionnement (sauf exceptions dues surtout à des particularités de construction).



Bien que, disions-nous, le rôle d'une pompe consiste à émettre un débit, lequel servira à alimenter le mouvement d'un vérin ou d'un moteur afin de produire un travail qui résultera en une résistance à l'écoulement de l'huile sous forme de pression, il est important de noter aussi que cette pression opposera une résistance à la rotation de la pompe, laquelle se manifestera sous forme de couple à l'arbre d'entraînement. En d'autres mots, si le travail accompli par le vérin (ou par le moteur) est très léger, alors l'écoulement se fera aisément. Il en résultera une faible pression et un faible couple au niveau de l'arbre, et réciproquement. Il convient de préciser que tous ces phénomènes se produisent simultanément.

Ainsi, en réaction à son rôle premier, une pompe est aussi, du point de vue fonctionnel, un composant générateur de couple, à partir de la pression à laquelle est soumis son débit. Par le fait même, une pompe peut assumer aussi le rôle d'un moteur, en fournissant un couple à partir de la pression du débit d'entrée. Cette propriété illustre bien la réversibilité inhérente aux mécanismes des pompes et des moteurs.



Le diagramme ci-contre illustre les liens entre la pression et le couple ainsi que la réversibilité.

---

(5) Nous entendons par composant idéal (ou théorique) un composant imaginaire qui répond exactement au rôle défini pour lui, c'est-à-dire dont le fonctionnement ferait abstraction des effets parasites tels: frottement, viscosité, masse, inertie, saturation, non linéarité. En somme, le composant qui répond au modèle explicatif de premier niveau.

En première approche, on peut dire qu'un moteur est une pompe, et réciproquement. Dans les faits, plusieurs pompes et moteurs peuvent assumer indifféremment ce double rôle ; dans d'autres cas cependant, des particularités de fabrication rendent cette réversibilité moins fonctionnelle, quoique présente.

CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION (*)

Pression
Vide
Principe de Pascal
Débit
Règles du débit (**)
Énergie et ses transformations
Loi de la conservation (Bernouilli)
Puissance
Rendement
Compressibilité / incompressibilité
Réversibilité
Viscosité
Régime d'écoulement

NOTES :

(*) Il est entendu que, en plus des concepts ci-contre, d'autres concepts relevant de la mécanique classique interviennent, explicitement ou implicitement, dans ces fonctions. Il s'agit notamment des concepts de force, masse, accélération, moment et couple, vitesse linéaire et de rotation, inertie, frottement, etc. Afin de ne pas allonger indûment la liste, nous avons retenu seulement les concepts plus particulièrement reliés ou traités en énergie des fluides. Nous considérons les autres concepts comme des préalables.

(**) Nous appelons «règles du débit» les règles qui sous-tendent le comportement du débit d'un fluide, plus particulièrement celles qui permettent d'expliquer la manière dont le débit va se comporter et se distribuer dans les conduits et les embranchements. Il s'agit des règles qui permettent aussi de faire l'analyse des circuits et de prévoir les interactions qui se produisent entre les divers composants. Ces règles sont différentes selon qu'il s'agisse d'un liquide ou d'un gaz. Généralement, elles sont traitées de manière implicite dans le contexte de l'enseignement collégial. Afin de les rendre explicites, le plus opérationnelles possible et accessibles aux élèves, nous proposons les énoncés suivants :

RÈGLES DU DÉBIT

	MILIEU INCOMPRESSIBLE (HYDRAULIQUE)	MILIEU COMPRESSIBLE (PNEUMATIQUE)
1	Le débit est constant en tout point d'un même conduit.	Le débit peut s'accumuler entre deux points d'un même conduit.
2	La somme des débits qui entrent et qui sortent d'un embranchement est nulle.	
3	Dans un embranchement, le débit circule par le conduit de moindre résistance (de moindre pression).	Dans un embranchement, le débit se répartit de manière inversement proportionnelle à la résistance (à la pression) des conduits.

1.2. TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE HYDROSTATIQUE EN ÉNERGIE MÉCANIQUE

Cette sous-fonction consiste à transformer le flux d'énergie hydrostatique provenant de la pompe sous forme de débit et de pression en énergie mécanique sous forme, soit de force et de vitesse linéaire, soit de couple et de vitesse de rotation. Le débit donnera la vitesse, tandis que la pression donnera la force ou le couple.

Cette sous-fonction est réalisée essentiellement, mais pas exclusivement[6], par les composants appelés vérins et moteurs.

LES VÉRINS

Rôle : Produire un mouvement linéaire à partir d'un débit.

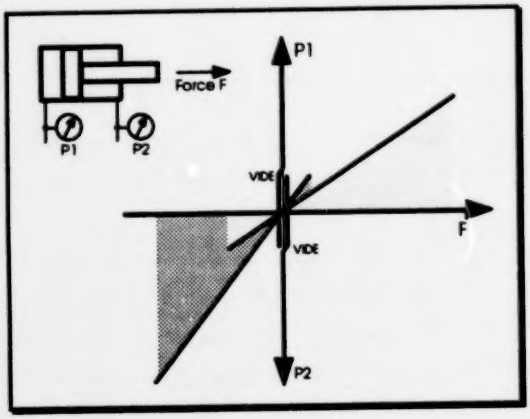
Comme nous le disions dans le cas de la pompe, le mouvement du vérin rencontrera une résistance au mouvement proportionnelle au travail à effectuer. Il en découlera une résistance à l'écoulement du liquide, laquelle se manifestera sous forme de pression. Il s'ensuit que, sans résistance, il n'y a pas de pression.

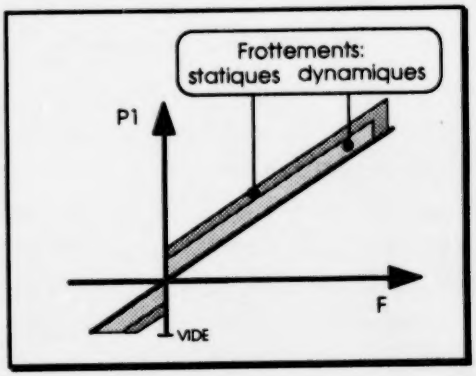
Ainsi, en réaction à son rôle premier, un vérin est aussi, du point de vue fonctionnel, un composant générateur de pression, à partir des forces auxquelles il est soumis. Par le fait même, si la force est de type menante, le vérin peut assumer aussi, pendant la durée de sa course, le rôle d'une pompe consistant à fournir un débit à partir du mouvement. Ainsi, en première approche, on peut dire qu'un vérin est une pompe et réciproquement. Cette propriété illustre bien la réversibilité inhérente aux mécanismes des vérins, des pompes et des moteurs. En fait, les pompes et les moteurs à pistons, sont composés d'organes mécaniques (pistons), semblables aux vérins, qui travaillent alternativement.

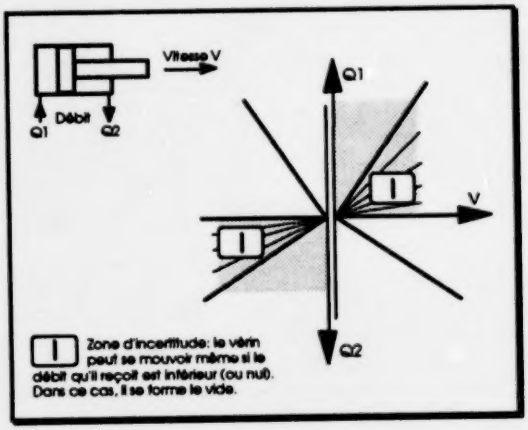
Les diagrammes de la page suivante illustrent les liens entre la pression et la force, ainsi qu'entre le débit et la vitesse d'un vérin.

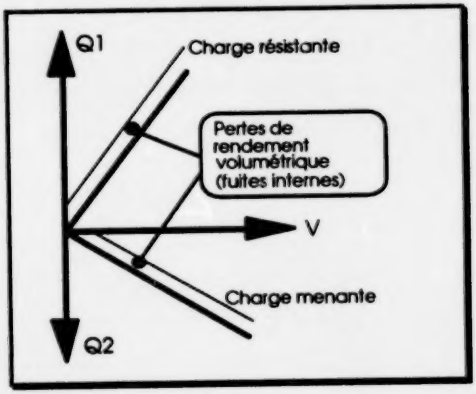
---

[6] Les pompes, selon le type de montage et les charges auxquelles elles sont soumises, peuvent exercer momentanément cette même fonction en vertu du principe de réversibilité des rôles.


Force F
P1
P2
P1
VIDE
VIDE
F
P2


Frottements:
statiques dynamiques
P1
F
VIDE


Vitesse V
Débit
Q1
Q2
Q1
V
Q2
Zone d'incertitude: le vérin peut se mouvoir même si le débit qu'il reçoit est inférieur (ou nul). Dans ce cas, il se forme le vide.


Q1
Charge résistante
Pertes de rendement volumétrique (fuites internes)
V
Charge menante
Q2

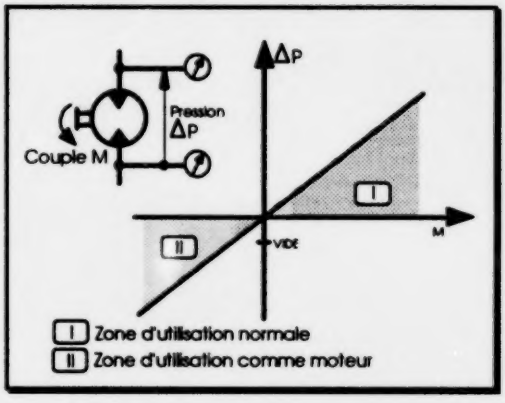
LES MOTEURS :

Rôle : Produire un mouvement rotatif à partir d'un débit.

Tout comme dans le cas du vérin et de la pompe, le mouvement de rotation du moteur rencontrera une résistance proportionnelle au travail à effectuer qui se traduira par une résistance à l'écoulement du liquide, laquelle créera la pression.

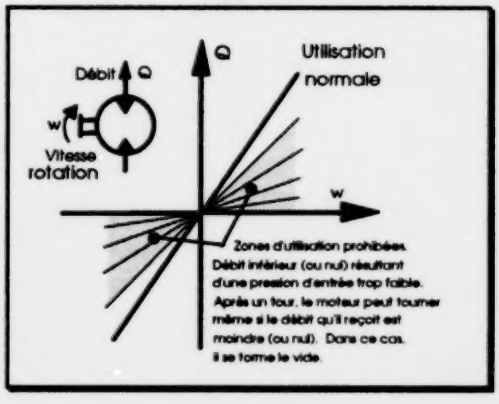
Ainsi, en réaction à son rôle premier, un moteur est aussi, du point de vue fonctionnel, un composant générateur de pression, à partir du couple auquel est soumis son arbre. Par le fait même, s'il est soumis à un couple menant, il peut assumer aussi le rôle d'une pompe, consistant à fournir un débit à partir du mouvement de son arbre. En première approche, on peut dire qu'un moteur est une pompe, et réciproquement.

Les deux diagrammes ci-contre illustrent les liens entre la pression et le couple, ainsi qu'entre le débit et la vitesse de rotation du moteur. On remarquera la ressemblance de ces diagrammes avec ceux de la pompe.



CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION

Pression
Vide
Principe de Pascal
Débit
Règles du débit
Énergie et ses transformations
Loi de la conservation (Bernouilli)
Puissance
Rendement
Compressibilité et incompressibilité
Réversibilité
Viscosité
Régime d'écoulement



1.3. DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE HYDROSTATIQUE

Cette sous-fonction consiste à aiguiller la circulation d'huile dans les divers conduits du système. L'aiguillage se fait en ouvrant, fermant ou bifurquant les passages qui relient les conduits. Les composants qui effectuent cette sous-fonction sont les distributeurs et les clapets anti-retour.

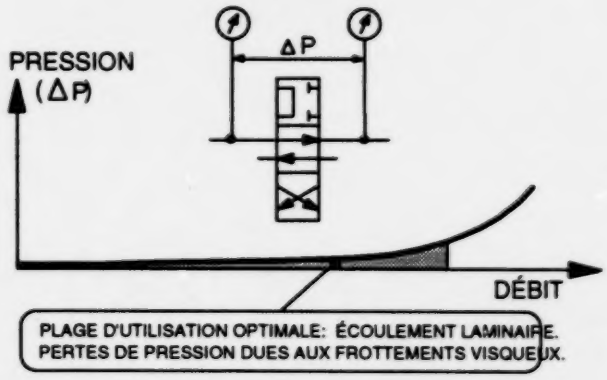
LES DISTRIBUTEURS:

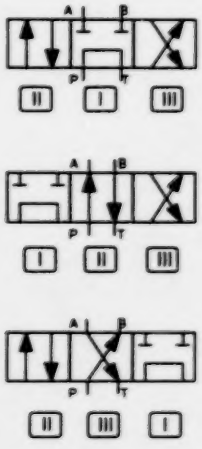
Rôle: Ouvrir, fermer et bifurquer les divers passages reliant les conduits.

Le rôle des distributeurs n'est pas d'affecter ni de transformer l'énergie qu'ils distribuent. C'est pourquoi on peut les considérer comme des composants passifs. Cependant, de manière résiduelle (parasite), ils causent une légère perte de pression (et donc, d'énergie)

On les désigne d'abord par le nombre de conduits qu'ils peuvent recevoir, puis par le nombre d'aiguillages qu'ils peuvent réaliser. Ainsi, un distributeur désigné 4 / 3 , comporte quatre ports, pouvant recevoir autant de conduits, et pourra effectuer trois aiguillages différents entre eux. Le type de commande (manuelle, électrique, mécanique, etc.) utilisée pour effectuer les aiguillages complète leur désignation.

Le symbole d'un distributeur 4 / 3 est présenté plus bas, à droite, avec chacun des trois aiguillages possibles: La case (I) correspond à la position repos; la case (II) à l'aiguillage parallèle et la case (III) à l'aiguillage croisé. Le diagramme de gauche illustre son comportement au moyen de la courbe caractéristique.





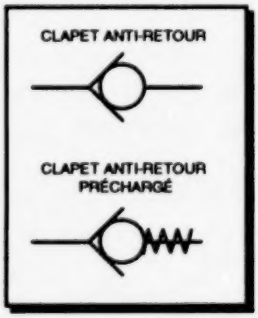
LES CLAPETS ANTI-RETOUR:

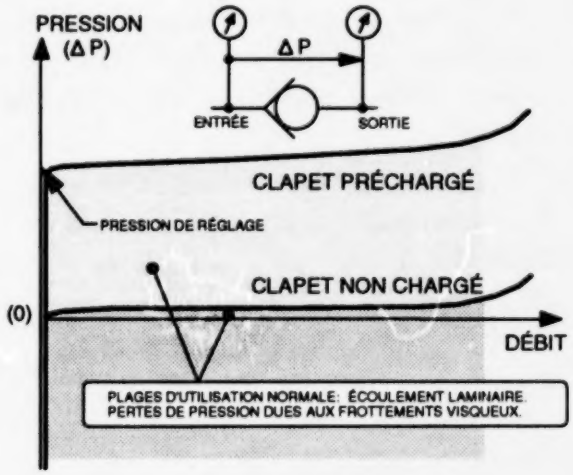
Rôle: Permettre le passage du fluide dans un sens et le bloquer dans l'autre sens.

Tout comme les distributeurs, les clapets anti-retour sont des composants passifs, car ils n'affectent ni ne transforment l'énergie (sauf de manière résiduelle).

Occasionnellement, on utilise des clapets préchargés pour offrir une résistance fixe (sous forme de pression) à l'écoulement du fluide. Cette résistance est matérialisée par la force d'un ressort qui maintient le clapet fermé jusqu'à ce que la pression désirée soit atteinte. Cette utilisation est semblable à celle des limiteurs de pression, et entraîne aussi les mêmes transformations d'énergie.

Le symbole des clapets anti-retour est illustré ci-après, à gauche. Le diagramme de droite illustre leur comportement au moyen des courbes caractéristiques.





LES CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION

Pression
Principe de Pascal
Débit
Règles du débit
Énergie et ses transformations
Loi de la conservation (Bernouilli)
Viscosité
Régime d'écoulement

1.4. ACCUMULATION DE L'ÉNERGIE HYDROSTATIQUE

Cette sous-fonction consiste à transformer l'énergie hydrostatique en énergie potentielle, pendant la phase d'accumulation, puis à la transformer à nouveau en énergie hydrostatique lors de la phase de restitution.

Elle s'effectue en accumulant un volume d'huile sous pression. Cette huile sera restituée, au moment opportun, pour produire un travail. La quantité d'énergie restituée sera fonction du volume accumulé et de la pression.

À proprement parler, il s'agit d'utiliser la puissance hydrostatique (sous forme de débit et de pression) pour constituer une réserve d'énergie (sous forme de pression et de volume accumulé).

Cette sous-fonction est réalisée essentiellement, mais pas exclusivement[7], par les composants appelés accumulateurs.

LES ACCUMULATEURS:

RÔLE: Constituer une réserve d'énergie hydrostatique et la restituer sur demande.

Ils comportent un corps séparé en deux chambres par un piston, une membrane élastique ou tout autre moyen. L'une des chambres sert à recevoir l'huile et l'autre, à exercer une force qui créera la pression sur l'huile. Cette force sera constante ou progressive selon son origine. Ainsi, une charge qui exerce son poids sur un piston séparant les deux chambres produira une force constante. Par contre, la force d'un gaz qui se comprime à mesure que l'huile fait reculer le piston, produira une force progressive. Théoriquement, la première solution est préférable. En pratique, les masses nécessaires sont énormes et les aménagements très coûteux. C'est pourquoi le gaz constitue la solution très largement privilégiée.

Que la force soit créée par le poids d'une charge, par l'effet d'un gaz comprimé, ou autrement, l'accumulateur aura tendance à libérer brusquement (de manière accélérée) son énergie potentielle. C'est pourquoi le débit de sortie doit généralement être restreint au moyen d'un limiteur de débit.

Précisons que, lors du montage, le gaz sous pression est injecté dans l'accumulateur lorsque la chambre d'huile est vide. Cette pression, appelée précharge, doit être suffisante pour effectuer le travail auquel l'huile est destinée. Dès lors, toute quantité d'huile qui entrera dans l'accumulateur doit se trouver au moins à cette pression. On évite ainsi de constituer une réserve d'huile qui ne servirait qu'à comprimer le gaz jusqu'à la pression utile.

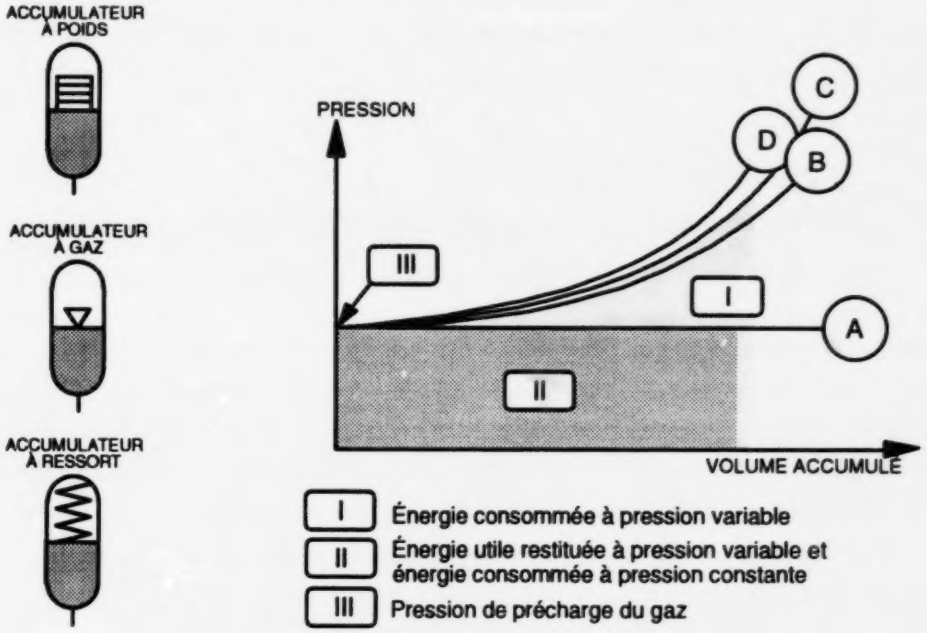
Le symbole des accumulateurs est présenté ci-après, à gauche, tandis que le diagramme de droite illustre leur comportement au moyen des courbes caractéristiques. La courbe (A) correspond à l'accumulateur à poids. Les trois autres correspondent à l'accumulateur à gaz. Dans ce cas, si la

[7] Les vérins et les moteurs, selon le type de montage et les charges auxquelles ils sont soumis, peuvent agir aussi comme des accumulateurs d'énergie.

compression est lente, la température du gaz reste constante. La courbe (B) suit alors la loi des gaz isotherme: $P_1 \bullet V_1 = P_2 \bullet V_2 = \text{CONSTANTE}$

Si, par contre, la compression se fait très rapidement, la courbe (D) est adiabatique (à chaleur constante) et suit la loi: $P_1 \bullet V_1^{1,4} = P_2 \bullet V_2^{1,4} = \text{CONSTANTE}$

La plupart des applications se trouvent entre ces deux cas limites, comme l'illustre la courbe (C) qui suit sensiblement la loi: $P_1 \bullet V_1^{1,2} = P_2 \bullet V_2^{1,2} = \text{CONSTANTE}$.



CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION

Pression
Principe de Pascal
Débit
Règles du débit
Énergie et ses transformations
Puissance
Compressibilité et incompressibilité
Lois des gaz

2.1. MODULATION DE LA FORCE

Cette sous-fonction s'effectue, de manière indirecte, en modulant la pression du fluide. En effet, puisque pour une surface donnée du piston d'un vérin la force est proportionnelle à la pression, à toute variation de pression correspondra une variation équivalente de la force. Il en est de même dans le cas du moment d'un moteur : pour une cylindrée donnée, le couple d'un moteur est fonction de la pression.

La modulation de la force est réalisée par les composants de la famille des valves de pression. On y retrouve essentiellement:

LES LIMITEURS DE PRESSION et autres valves assimilées (valves de sécurité, de séquence, de retenue, d'équilibrage...).

RÔLE: Ouvrir le passage du fluide seulement si la pression en amont est ≥ que la valeur de réglage.

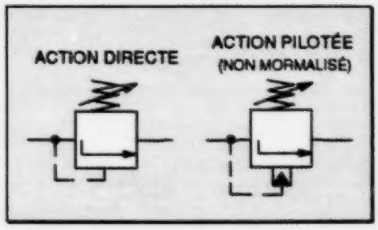
Ces valves sont souvent installées dans un embranchement en parallèle (en dérivation) du conduit principal. Leur action consiste alors à offrir une alternative au passage du fluide. Ainsi, lorsque le conduit principal n'est plus praticable, on peut le dériver vers un conduit secondaire. La pression maximale du système est alors limitée par le réglage de la valve.

Ces valves, de par leur construction, peuvent être à action directe ou à action pilotée. Leur principe de fonctionnement et leur comportement sont alors différents.

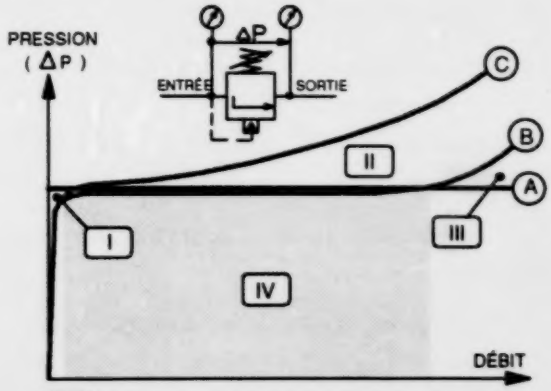
Les limiteurs de pression à action directe sont essentiellement constitués d'un orifice qui est normalement fermé par une bille (ou un clapet) maintenue en place par un ressort dont la force est réglable. Si la pression d'huile devient trop importante, la force qui résulte de cette pression et de la surface de l'orifice parviendra à faire reculer la bille en comprimant légèrement le ressort pour laisser échapper l'huile excédentaire vers le réservoir et éviter ainsi le dépassement de pression. Toutefois, la bille demeure en tout temps sous la force du ressort ; elle a tendance à fermer le conduit afin d'assurer le maintien de la pression à sa valeur de réglage en amont de la valve.

L'utilisation de ce type de valves est généralement limitée aux débits relativement faibles (environ 15 l /mn). Pour des débits plus importants, on préfère les valves à action pilotée dont la construction est plus élaborée, mais qui offrent une meilleure linéarité de fonctionnement et un ajustement plus sensible. Elles comportent une partie pilote, qui n'est autre chose qu'une petite valve d'action directe telle que décrite précédemment, et une partie pilotée qui amplifie l'action et qui permet de manipuler les grands débits.

La figure ci-contre présente le symbole de ces valves.



Le diagramme ci-contre illustre leur comportement au moyen des courbes caractéristiques. La courbe (A) correspond au composant idéal (théorique), la courbe (B) à la valve d'action pilotée et la courbe (C) à la valve d'action directe.



I Pression d'ouverture. Légère compression du ressort.

II Compression croissante du ressort avec augmentation non linéaire de la pression

III Saturation: fin de l'action du compensateur.

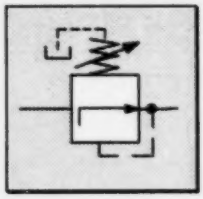
IV Plage d'utilisation optimale (action pilotée)

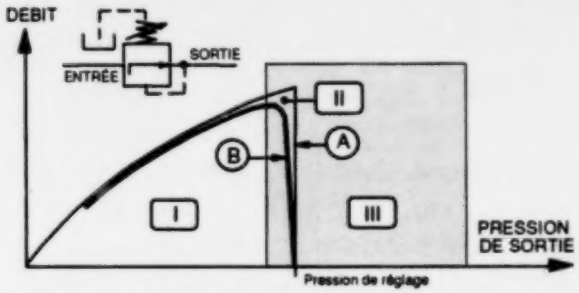
LES RÉDUCTEURS DE PRESSION:

RÔLE: Limiter la pression en aval, à la valeur de réglage.

Contrairement aux limiteurs de pression, ces valves sont normalement ouvertes. Elles se ferment sous l'action de la pression de sortie. La force qui en résulte s'oppose à celle d'un ressort réglable par l'intermédiaire d'un piston. Si la pression parvient à comprimer le ressort, le piston se déplace et ferme l'arrivée de l'huile. La pression du conduit en aval reste ainsi limitée, nonobstant toute éventuelle augmentation en amont.

Le symbole des réducteurs de pression est présenté dans la figure suivante, à gauche, tandis que le diagramme de droite illustre leur comportement à l'aide des courbes caractéristiques. La courbe (A) correspond au composant idéal (théorique) et la courbe (B) au composant réel.





I Pression inférieure au réglage: la valve demeure ouverte. Avec le débit, la pression augmente (frottements visqueux).

II Début de l'action de la valve (compression du ressort).

III Plage d'utilisation normale de la valve.

CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION

Pression	Puissance
Principe de Pascal	Rendement
Débit	Compressibilité et incompressibilité
Règles du débit	Viscosité
Énergie et ses transformations	Régime d'écoulement
Loi de la conservation (Bernouilli)	

2.2. MODULATION DE LA VITESSE

Cette sous-fonction s'effectue, de manière indirecte, en modulant le débit d'huile qui circule par le composant récepteur qui actionne la machine. Ainsi, dans le cas d'un vérin, pour une surface de piston donnée, à toute variation du débit correspond une variation équivalente de la vitesse. Il en est de même dans le cas de la cylindrée d'un moteur hydraulique et de sa vitesse de rotation.

La modulation de la vitesse peut se réaliser essentiellement de deux manières :

1- Avec une pompe à cylindrée fixe. Les composants utilisés alors sont les limiteurs et les régulateurs de débit. Ils servent à restreindre le débit d'huile qui circule vers le récepteur (vérin ou moteur). Cependant, le débit excédentaire devra s'évacuer vers le réservoir, causant une perte d'énergie qui se transformera en chaleur, ce qui provoquera une augmentation de la température de l'huile.

2- Avec une pompe à cylindrée variable. Il s'agit alors d'ajuster la cylindrée afin d'obtenir le débit exactement nécessaire pour obtenir la vitesse voulue. De cette manière, le rendement énergétique est meilleur vu qu'il n'y a pas de débit excédentaire. Cependant, cette manière est moins utilisée surtout à cause du coût initial plus élevé.

Nous traiterons ici des limiteurs et des régulateurs de débit. Les pompes à cylindrée variable sont couvertes dans la sous-fonction «TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE EN ÉNERGIE HYDROSTATIQUE».

LES LIMITEURS ET LES RÉGULATEURS DE DÉBIT.

RÔLE: Limiter le débit à la valeur de réglage.

Ces valves, de par leur construction, peuvent être à action directe ou compensée. Les premières, appelées généralement limiteurs de débit, comportent un orifice réglable dont la section détermine le débit de passage. Cependant, pour une ouverture donnée, le débit sera affecté par toute variation de la

différence de pression (ΔP) entre l'entrée et la sortie de la valve. Il en résultera un manque de précision du réglage du débit.

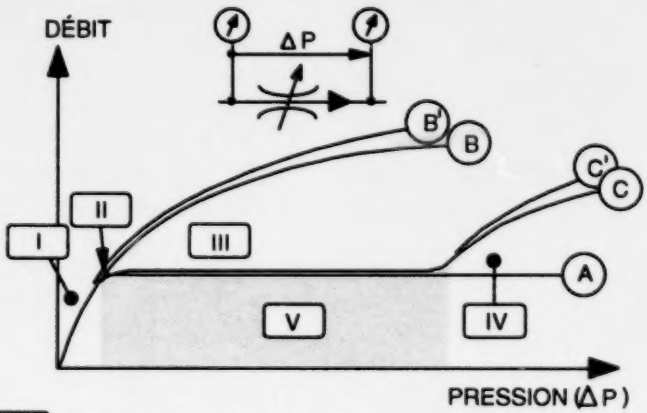
Les valves à action compensée, appelées régulateurs de débit, comportent, en plus d'un orifice réglable, une deuxième restriction, en série, qui varie inversement avec le ΔP. Plus celui-ci augmente, plus la restriction rétrécit, compensant ainsi son effet sur le débit. Ces valves maintiennent le débit pratiquement constant malgré les variations du ΔP. Nonobstant ce dispositif, le débit variera si la viscosité de l'huile change. Or, puisque pendant le fonctionnement du système il y a réchauffement à cause des diverses pertes énergétiques, il en résultera une diminution de la viscosité de l'huile qui se traduira par une augmentation du débit. Pour corriger cette situation, on peut ajouter un dispositif thermo-sensible faisant varier la section de passage du fluide en fonction inverse de la température de l'huile. C'est le compensateur de température.

Le symbole de ces valves est présenté plus bas, à gauche, tandis que le diagramme de droite illustre leur comportement au moyen des courbes caractéristiques. La courbe (A) correspond au composant idéal (théorique), la courbe (B) au limiteur de débit (sans compensateur de pression) et la courbe (C) au régulateur de débit avec compensateur de pression. Les courbes (B') et (C') illustrent l'effet d'une augmentation de la température de l'huile sur le débit, en absence d'un compensateur de température

LIMITEUR DE DÉBIT

RÉGULATEUR DE DÉBIT
AVEC COMPENSATEUR
DE PRESSION

RÉGULATEUR DE DÉBIT
AVEC COMPENSATEUR DE
PRESSION ET DE TEMPÉRATURE



I	Débit < au seuil de réglage. Aucun effet du régulateur.
II	Début de l'action du compensateur.
III	Débit fonction du ΔP (sans compensateur).
IV	Saturation. Fin de l'action du compensateur.
V	Plage d'utilisation normale (avec compensateur).

CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION

Pression	Puissance
Principe de Pascal	Rendement
Débit	Compressibilité et incompressibilité
Règles du débit	Viscosité
Énergie et ses transformations	Régime d'écoulement
Loi de la conservation (Bernouilli)	

3.1. STABILISATION THERMIQUE DU SYSTÈME

Cette sous-fonction consiste à maintenir la température du système à l'intérieur des limites acceptables. Il s'agit, soit de refroidir, soit de réchauffer le système.

La plupart du temps, ce qui pose problème, c'est la montée excessive de température causée par les diverses pertes de rendement des composants. Ces pertes deviennent des sources de chaleur et sont attribuables, en priorité, aux aspects suivants:

1) Les pertes de rendement volumétrique, c'est-à-dire les fuites internes des composants, notamment des pompes et des moteurs.

2) Les chutes de pression causées par l'action des valves de pression et de débit.

3) Les excédents de débit causés par l'action des valves de débit. Ces débits retournent au réservoir, généralement à travers une valve de pression.

4) Les pertes de rendement mécaniques, c'est-à-dire les résistances dues aux frottements des mécanismes, notamment aux vérins, pompes, et moteurs.

5) Les pertes de pression dues aux frottements visqueux à l'intérieur des valves et dans les conduits, particulièrement en régime d'écoulement turbulent.

Toutes ces sources contribuent au réchauffement du système, c'est-à-dire des composants eux-mêmes, mais aussi la masse d'huile contenue dans le réservoir. Cet apport énergétique doit s'équilibrer avec la capacité de dissipation de chaleur du système, sans quoi la température augmenterait indéfiniment.

La dissipation de chaleur se fait surtout par convection et par radiation. Tous les composants du système y contribuent lorsqu'ils atteignent une température supérieure à celle de l'air ambiant. La surface d'exposition et l'écart de température déterminent le débit d'énergie (puissance) dissipée. Ainsi, le réservoir, en raison de ses grandes surfaces, est le principal composant à cet égard. Son emplacement

(environnement encombré, dégagé ou ventilé) contribue à son efficacité puisqu'il affecte le taux de convection de l'air ambiant.

En général, lorsque la puissance impliquée est faible, le système parvient seul à maintenir l'équilibre thermique. Toutefois, lorsque la puissance dépasse environ 5 kW, l'on doit souvent faire appel à un refroidisseur.

Contrairement, lorsqu'un système est installé dans un environnement très froid, il faut le réchauffer pour éviter que l'huile se congèle, particulièrement pendant les périodes d'arrêt prolongé.

Les composants qui assument ces tâches d'échange de chaleur sont les refroidisseurs et les éléments chauffants. Leur action est généralement commandée au moyen de thermostats.

Occasionnellement, on retrouve ces deux composants dans un même système, chacun agissant lorsque les circonstances l'exigent.

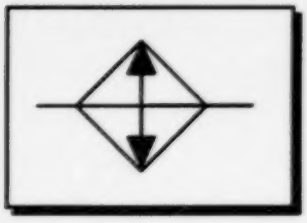
LES REFROIDISSEURS:

Rôle: Dissiper la chaleur excédentaire au maintien de l'équilibre thermique du système à une température maximale acceptable (70 °C environ).

L'action des refroidisseurs consiste à faire circuler l'huile chaude dans un environnement refroidissant. Dans les installations fixes, on utilise généralement l'eau froide; un faible débit baigne le conduit d'huile, puis l'eau légèrement plus chaude est rejetée. Dans les installations mobiles, on utilise l'air forcé par un ventilateur ; le refroidisseur ressemble alors à un radiateur d'automobile.

Dans les deux cas, la capacité de dissipation de chaleur est proportionnelle à la surface d'exposition et à l'écart de température entre l'huile et l'agent refroidisseur, le tout pondéré d'un coefficient qui tient compte de la forme de transfert de chaleur (conduction pour l'eau, convection pour l'air) et de la conductibilité thermique des matériaux. En pratique cependant, il suffit généralement d'établir le bilan énergétique du système, c'est-à-dire : 1) déterminer la puissance qui est convertie en chaleur et qui demeure dans le système et, 2) déterminer la puissance dissipée par le système, sans refroidisseur. Si la première excède la deuxième, il faut ajouter un refroidisseur en conséquence.

La figure ci-contre présente le symbole des refroidisseurs (à noter le sens des flèches vers l'extérieur, indiquant l'évacuation de chaleur).



Le tableau ci-contre donne les taux de dissipation des réservoirs selon leur environnement. Il est à noter que ces taux tiennent compte, dans une certaine mesure, de la chaleur moyenne dissipée par l'ensemble des composants du système.

DISSIPATION DE CHALEUR DES RÉSERVOIRS

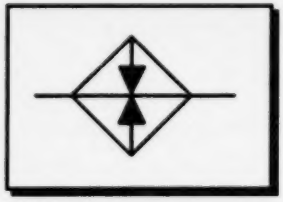
EMPLACEMENT DU RÉSERVOIR	TAUX DE DISSIPATION ($kW / m^2 \bullet \Delta T°C$)
ENCOMBRÉ	15
DÉGAGÉ	25
AÉRÉ	35

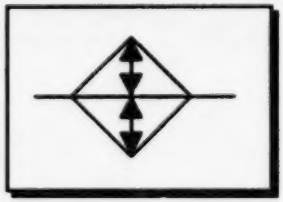
LES ÉLÉMENTS CHAUFFANTS:

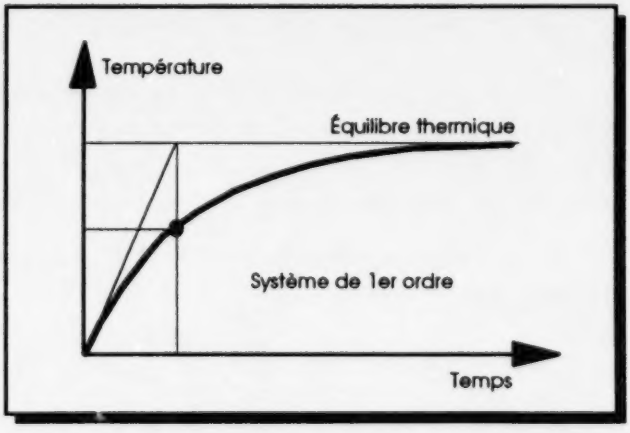
Rôle: Éviter que la température de l'huile ne descende sous le seuil minimal acceptable (-15°C environ).

Il s'agit d'éléments électriques chauffants, semblables à ceux utilisés dans les chauffe-eau domestiques. Ils sont formés d'une résistance qui se réchauffe au passage du courant électrique. L'huile qui entoure l'élément reçoit la chaleur par conduction. Il s'ensuit une augmentation de température qui génère une légère convection, laquelle entraîne le réchauffement de toute la masse d'huile. Dans certaines installations à l'air libre, on préfère procéder par recirculation d'huile. Il s'agit alors de la faire circuler du réservoir (froid) vers une bâtisse (chaude) où elle parviendra à se réchauffer avant de retourner au réservoir.

La figure suivante présente, à gauche, le symbole des éléments chauffants (à noter le sens des flèches vers l'intérieur, indiquant l'apport de chaleur). Plus bas, le symbole d'un régulateur de température, combinaison d'un refroidisseur et d'un élément chauffant dans un seul appareil. Le diagramme de droite illustre la courbe caractéristique des systèmes de premier ordre, correspondant, dans notre cas, à l'évolution de la température d'un système hydraulique en fonction du temps .







CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION

Énergie et ses transformations	Système de premier ordre
Puissance	Viscosité
Rendement	Régime d'écoulement
Transfert de chaleur	

3.2. CONDITIONNEMENT DU FLUIDE

Cette sous-fonction consiste à maintenir l'huile du système libre des particules solides qui pourraient causer des problèmes de fonctionnement aux divers composants. Il s'agit de filtrer l'huile afin de retenir ces particules.

Les composants les plus sensibles aux particules solides sont les pompes, les moteurs, les distributeurs, les valves de pression à action pilotée et les valves de débit avec compensateurs. Cette sensibilité vient du fait des très faibles jeux de fonctionnement entre les pièces mobiles des composants (de l'ordre de 3 à 10 microns). Ces faibles jeux sont nécessaires pour minimiser les fuites internes, particulièrement à haute pression. En revanche, les particules solides qui s'y logent peuvent rayer les surfaces et, à terme, accélérer l'usure et augmenter les fuites. Au pire, elles peuvent gripper les pièces, rendre le composant inopérant et même causer le bris.

Idéalement, l'huile devrait être parfaitement libre de ces particules solides. En pratique cependant, il serait trop coûteux d'y parvenir. En effet, les sources de ces particules sont multiples. Parmi les plus importantes:

1- Les résidus métalliques tels calamine, limailles et petits copeaux produits lors de la fabrication et du montage des composants et du système.
2- Les poussières, résidus de terre, sable ou autres qui entourent le système.
3- Les particules (surtout métalliques) provenant de l'usure des composants.

Il convient de préciser que cette fonction de filtrage, quoiqu'elle puisse paraître anodine, est de la plus haute importance du point de vue pratique. En effet, le mauvais filtrage, particulièrement dû aux négligences d'entretien, est à l'origine d'une très grande majorité de pannes, de problèmes de fonctionnement et d'usure prématurée des composants.

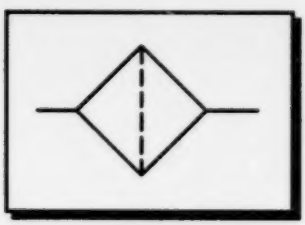
La solution consiste donc à filtrer ces particules. Les composants qui réalisent cette sous-fonction sont les crépines et les filtres.

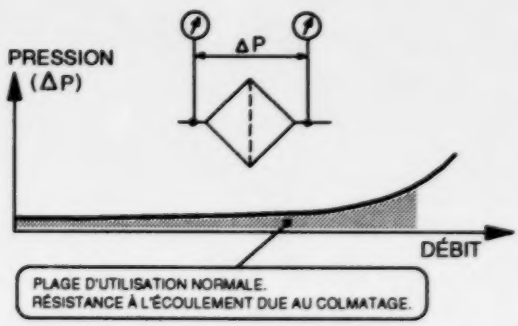
LES CRÉPINES ET LES FILTRES:

Rôle: Retenir les particules solides contenues dans l'huile, dont la grosseur peut compromettre le bon fonctionnement des composants.

Les crépines sont construites d'un treillis métallique très fin, souvent en plusieurs couches. Elles sont généralement installées à l'aspiration de la pompe. Elles ne retiennent que les particules dont la taille est de l'ordre de 100 à 200 microns. Malheureusement, à l'aspiration, on ne peut imposer une plus grande précision de filtrage, car la résistance à l'écoulement serait trop importante et la pression atmosphérique ne parviendrait pas à gaver la pompe convenablement, causant le phénomène de cavitation. La solution palliative consiste à installer un deuxième filtre en aval de la pompe, notamment à la fin du circuit, avant le retour de l'huile au réservoir, et forcer l'huile à travers un filtre plus précis. Ces filtres sont construits en matière fibreuse (coton, papier mâché, etc.) et permettent d'intercepter les particules de 20 à 30 microns[8] La résistance qu'ils opposent à l'écoulement varie en fonction de la viscosité de l'huile et du débit par unité de surface. Ils sont dimensionnés de manière à ne pas dépasser 0,5 bar à l'état neuf. Cette résistance augmente à mesure qu'ils interceptent des particules puisque leur surface active diminue (colmatage). Il convient de les remplacer lorsque cette pression atteint 2 ou 3 bar.

Le symbole des filtres et des crépines est présenté dans la figure suivante, à gauche. Le diagramme de droite illustre leur comportement à l'aide des courbes caractéristiques.





CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION

Pression
Vide
Débit
Viscosité
Régime d'écoulement

[8] En hydraulique proportionnelle et d'asservissement, on utilise des filtres de 2 à 5 microns.

B. TABLEAU-SYNTHÈSE DES CONCEPTS MIS À CONTRIBUTION EN ÉNERGIE DES FLUIDES

Le tableau suivant illustre les concepts mis à contribution dans les systèmes d'énergie des fluides pour chacune des fonctions technologiques. Nous les présentons en quatre groupes. Les trois premiers concernent des concepts centraux accompagnés de concepts qui leur sont associés ou qui en dérivent : il s'agit de la pression, du débit et de l'énergie et ses multiples manifestations. Finalement, le dernier groupe comprend des concepts divers sans liens particuliers entre eux.

	FONCTIONS D'UN SYSTÈME D'ÉNERGIE DES FLUIDES						
	TRANSMISSION DE L'ÉNERGIE			MODULATION DE L'ÉNERGIE		STABIL. ET CONDIT. DU SYSTÈME	
CONCEPTS	Transformation	Distribution	Accumulation	Force (pression)	Vitesse (débit)	Stabilité thermique	Condition. du fluide
Pression	■	■	■	■	■		■
Vide	■						■
Principe de Pascal	▒	▒	▒	▒	▒		
Débit	■	■	■	■	■		■
Règles du débit	▒	▒	▒	■	■		
Énergie et transform.	■	■	■	■	■		
Loi conserv. Bernouilli	▒	▒		▒	▒		
Puissance	■		▒	▒	▒	■	
Rendement	■			▒	▒	■	
Transfert de chaleur						■	
Système de 1er ordre						■	
Compressib./ incomp.	■		■	▒	■		
Réversibilité	■						
Viscosité	▒	▒		▒	■	▒	▒
Régime d'écoulement	▒	▒		▒	▒	▒	▒
Lois des gaz			■				

Légende : concepts essentiels ■ concepts importants ▒

Il parait opportun de souligner que, du tableau précédent, trois concepts centraux se dégagent nettement par leur importance généralisée dans l'ensemble des fonctions technologiques. Il s'agit de la pression, du débit et de l'énergie. Aussi, tel que nous le verrons au chapitre suivant, il convient de noter, dès à présent, que les élèves se sont avérés très peu familiers avec les concepts reliés à l'énergie et ses transformations. C'est pourquoi nous consacrerons la dernière partie de ce chapitre à illustrer leur importance.

C. L'ÉNERGIE ET SES TRANSFORMATIONS : DES CONCEPTS CENTRAUX

Précédemment, nous avons défini la fonction globale d'un système hydraulique comme étant celle destinée à transmettre à une machine l'énergie nécessaire pour effectuer ses actions. Mais, d'où provient cette énergie ? Que devient-elle lorsque la machine la reçoit ? Où va-t-elle finalement ?

La source d'énergie provient surtout d'un moteur électrique ou d'un moteur à combustion interne. Occasionnellement, elle est d'origine musculaire.

Pour l'essentiel, la machine utilisera cette énergie pour :

1- Produire le travail utile pour lequel la machine est destinée comme, par exemple, soulever une charge, cisailler une tôle ou déplacer un véhicule.

2- Vaincre les frottements inhérents au fonctionnement de la machine elle-même, c'est-à-dire au guidage du mouvement des divers organes (articulations, glissières, etc.).

3- Vaincre les inerties des organes de la machine elle-même, mais aussi celles dues aux masses qu'elle manipule.

L'importance relative de ces trois aspects varie selon le type de machine considéré et son contexte d'utilisation. Ainsi, par exemple, dans le cas d'une pelle mécanique, l'énergie consacrée au travail utile sera relativement importante, compte tenu des charges impliquées; celle consacrée aux inerties sera aussi assez importante, en raison des déplacements très fréquents et rapides de grandes masses, tandis que l'énergie nécessaire pour vaincre les frottements sera moins importante. Bien entendu, cette répartition serait tout autre si nous considérions la même pelle mécanique fonctionnant à vide, sans charge utile. Dans l'exemple d'une machine-outil servant à faire avancer, avec précision, une pièce sous l'outil de coupe, l'énergie au chapitre des frottements causés par les glissières sera plus importante que celle consacrée aux inerties, étant donné les vitesses relativement faibles. L'énergie nécessaire à produire le travail utile (ici, vaincre les efforts d'usinage) sera probablement peu importante aussi.

Nous constatons que l'énergie subit de multiples transformations. D'abord, elle est d'origine électrique ou pétrolière[9]. Le système hydraulique la reçoit sous forme d'énergie mécanique puis la transforme en énergie hydrostatique et potentielle. En bout de ligne, elle sera transmise à la machine sous forme d'énergie mécanique. Elle sera partiellement utilisée sous forme d'énergie cinétique pour mettre la machine en mouvement, et partiellement en énergie potentielle pour effectuer un travail tel que l'élévation d'une charge.

Ultimement, toutes ces formes d'énergie seront transformées en chaleur à cause des diverses pertes de rendement dues aux frottements, chocs, fuites, bruits, vibrations, etc. Nous disons bien ultimement, car la chaleur ainsi produite, particulièrement lorsqu'elle implique des températures inférieures à 100 °C, constitue la forme la plus dégradée de l'énergie parce qu'elle n'est pratiquement plus transformable.

[9] À son tour, l'énergie électrique trouve ses sources dans l'énergie nucléaire ou dans l'énergie hydraulique provenant des chutes d'eau, elles-mêmes produites par l'évaporation causée par l'énergie solaire. C'est le soleil aussi qui est à l'origine de l'énergie pétrolière, notamment à travers la photosynthèse des végétaux, ainsi que de l'énergie éolienne et photoélectrique.

CHAPITRE II

LES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES :
CADRE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTATION

Nous présentons, dans ce chapitre, une étude succincte du concept didactique de représentation en faisant ressortir son caractère dynamique. Aussi, nous allons aborder les résultats de quelques travaux menés au plan international, au sujet des représentations des apprenants relativement aux concepts de base de l'hydraulique et de la mécanique newtonienne. Finalement, nous allons exposer la méthode de recherche que nous avons utilisée afin de mettre en lumière les représentations des élèves du programme des *Techniques de génie mécanique* dans les collèges, en ce qui a trait aux concepts fondamentaux de l'énergie des fluides. Ainsi, nous présenterons les diverses parties de l'expérimentation, c'est-à-dire l'élaboration des questionnaires écrit et oral, l'échantillon, les données et leur analyse.

I. CONCEPT DIDACTIQUE DE REPRÉSENTATION

Le concept de représentation est employé dans plusieurs champs disciplinaires tels que la sociologie, la psychologie, les sciences cognitives, la didactique, l'histoire et l'épistémologie des sciences et des technologies. Étant donné la spécificité de chacune de ces disciplines, on comprendra l'absence d'une définition universellement reconnue. Ainsi, nous avons jugé pertinent de présenter une étude abrégée de ce concept.

A. LA REPRÉSENTATION DES NOTIONS SCIENTIFIQUES ET LA REPRÉSENTATION SOCIALE

Le concept de représentation a été évoqué depuis le XIX^{e} siècle par Durkheim, un des fondateurs de la sociologie en France. Cependant, ce n'est qu'en 1961 que Moscovici en a fait une étude exhaustive dans son traité *La psychanalyse, son image et son public.* Ce sociologue considère la représentation sociale comme une «*organisation psychologique, une modalité de connaissance particulière*» (p. 302).

D'autres chercheurs ont explicité davantage ce concept dont voici quelques définitions:

> «*Unité d'images, d'opinions, de croyances et d'attitudes, la représentation est la fabrication d'un système d'orientation cognitive et affective dans l'environnement matériel et social. La représentation est une expression d'un sujet fabricateur de significations.*» (Kaes, 1968, p. 59)

> *«La représentation est constituée par l'ensemble des propriétés de l'environnement construites et organisées par le sujet à un moment donné. Cette représentation qui résulte des actions du sujet est donc étroitement liée aux tâches de celui-ci, ce qu'on exprime souvent en disant qu'elle est opératoire.»* (Leplat, 1976, p.8)

> *«Une représentation correspond à une structure sous-jacente, à un modèle explicatif organisé, le plus souvent simple et logique, personnel ou d'origine sociale qui est en rapport avec une structure de pensée et un niveau d'évolution. Ce modèle se trouve actualisé par une activité ou une famille de questions et peut évoluer au fur et à mesure que se construisent les concepts.»* (De Vecchi, 1987, p. 223)

À partir de ces définitions, on peut observer, d'une part, qu'une représentation est un ensemble d'images, de concepts, d'analogies et de modèles constituant des mécanismes complexes et qui servent à former une structure cognitive cohérente et particulière à chaque individu. D'autre part, ces représentations semblent résulter d'une interaction entre la personne et son environnement, d'où leur caractère distinct et diversifié. Ainsi, ce phénomène est éminemment complexe et il appert, à la lecture de résultats des recherches, que toute entreprise visant à en caractériser la genèse soit vouee à un constat de généralités peu descriptif des cas individuels. Autrement dit, il existerait probablement, pour chaque individu, une explication distincte, basée sur des circonstances particulières pouvant expliquer l'origine et la prégnance de telle ou telle représentation.

B. LA REPRÉSENTATION CONCEPTUELLE

Ackermann et Rialan (1963) proposent une classification de la représentation sociale. Ainsi, ils ont réussi à distinguer trois catégories, à savoir les représentations descriptives, opératoires ou instrumentales et conceptuelles. Dans un article synthèse, Migne (1976) illustre ainsi chacune d'elles :

1° *Les représentations descriptives: le sujet sélectionne quelques éléments de son expérience quotidienne et professionnelle, plus ou moins disparates, et les décrit sommairement. Il met l'accent sur les états plus que sur les processus et la représentation est une image passive, une constatation de faits.*

2° *Les représentations opératoires ou instrumentales: le sujet met en relation les éléments de connaissances ou d'expérience avec sa propre action en vue de la réalisation d'un but pratique. Elles ne se réduisent plus aux états mais portent sur les opérations.*

3° *Les représentations conceptuelles: il y a une véritable analyse notionnelle des processus, une représentation de la dynamique interne des phénomènes et non seulement des conditions visibles de l'action technique. Le sujet essaie de fonder sur des lois de la*

> *nature les catégories et fonctions qu'il utilise dans la pratique en s'aidant des connaissances acquises à l'école auxquelles il intègre des éléments d'expérience personnelle.* (pp. 25-26)

Cette dernière catégorie sera davantage prise en considération dans notre étude, car «*elle porte sur les règles appuyées sur des lois scientifiques et le sujet cherche à rendre compte des événements par la combinaison d'un nombre limité de variables ou facteurs déterminants*» (Migne, 1976, p. 26). Notons qu'il s'agit de représentations construites après un enseignement formel des sciences et des technologies. Relativement au mode d'élaboration des trois catégories de représentations précitées, Ackermann et Rialan (1963) distinguent celles qui sont statiques et celles qui sont dynamiques. Dans le premier cas, il s'agit de «*représentations pauvres où le mode d'élaboration n'est pas apparent: le sujet donne une réponse figée sans fournir le cheminement par lequel il la produit*» (p. 26). Par contre, pour les représentations dynamiques:

> «*Le sujet exprime verbalement la recherche à laquelle il se livre pour trouver une réponse aux questions posées et analyse ainsi les différents stades où il passe dans la recherche de l'explication. En plus de l'étiquetage et de la description d'un phénomène, le sujet précise quelques-unes de ses conditions "d'apparition"*». (pp. 26-27)

Ainsi, les représentations dynamiques découlent d'un long processus de reconstruction de l'objet de connaissance et, par conséquent, ne résultent pas de simples formulations ou d'observations passives. Ces représentations se construisent progressivement, par vagues successives et des raffinements multiples qui interviennent à mesure que des liens se créent entre divers concepts connexes, liens qui se renforcent avec des expérimentations diversifiées, étalées dans le temps. Selon cette perspective, il serait aléatoire, voire hasardeux, d'espérer l'abandon complet d'une représentation naïve au profit de la représentation scientifique, à la suite d'une démarche d'apprentissage planifiée dont la durée serait nécessairement restreinte, telle qu'on pourrait la pratiquer dans un contexte scolaire. Lorsque ces représentations ne sont pas conformes à celles scientifiquement admises, Piaget les qualifie de représentations spontanées. Selon lui,

> «*Elles sont le fruit d'un très long travail de structuration et de maturation réalisé par le sujet. Elles résultent d'une assimilation déformante effectuée depuis longtemps à partir d'apports aux origines les plus variées (milieu familial, socio-culturel, scolaire, expérience, vécu, média...). Elles résistent tant à l'apprentissage qu'à la contre-suggestion dans les entretiens critiques.*» (Piaget, 1947, pp. 5-30, cité par Jonnaert, 1988, p. 57)

Dès lors, comment peut-on expliquer ce phénomène de persistance évoqué par Piaget ?

C. PERSISTANCE DES REPRÉSENTATIONS SPONTANÉES

De nombreuses recherches, comme nous le verrons dans les pages qui suivent, montrent le caractère coriace des représentations spontanées. Un bon nombre d'entre elles persiste encore chez les étudiants universitaires. C'est que ces représentations existent, la plupart du temps, depuis l'enfance, même avant l'âge scolaire. Elles ont été forgées au gré des diverses situations vécues et, graduellement, elles ont servi d'appui à la construction de nouvelles conceptions plus complexes. La trame conceptuelle ainsi construite, quoiqu'inexacte du point de vue scientifique, n'en demeure pas moins cohérente, dans son ensemble, aux yeux de la personne qui l'a développée. Cela ne signifie aucunement que cette structure lui permette d'expliquer toutes les situations observées. En effet, elle peut subsister malgré certaines contradictions si celles-ci ne sont pas de nature à gêner le fonctionnement habituel de la personne. En d'autres mots, une structure conceptuelle peut s'accommoder d'incohérences pour autant que celles-ci soient facilement contournables, soit en évitant d'avoir à les tirer au clair (solution de facilité), soit en adoptant de manière circonstancielle une nouvelle règle particulière adaptée à la situation (solution par la règle d'exception), ou encore, tout simplement en l'attribuant à un autre concept qui n'est pas encore maîtrisé (solution par l'aveu d'incapacité). C'est que, comme le constatait déjà Bachelard en 1938, «*il vient un temps où l'esprit aime mieux ce qui confirme son savoir que ce qui le contredit, ou on aime mieux les réponses que les questions. Alors l'instinct conservatif domine*». (Cité dans Giordan et al., 1987 b, p.46).

D. COEXISTENCE DE NIVEAUX MULTIPLES : PHÉNOMÈNE DE PLACAGE

Une structure conceptuelle peut cohabiter avec d'autres structures parallèles (plus ou moins complètes), chacune d'elles pouvant être utilisée dans un contexte explicatif distinct. Il s'agit d'une extension de la règle d'exception. L'élève utilise alors, selon le contexte et les circonstances, telle ou telle explication pour satisfaire les attentes ou, tout simplement, pour se tirer d'affaires. Tout se passe comme si on utilisait un cadre explicatif théorique (celui exigé dans le contexte formel scolaire) qui serait distinct de celui applicable dans la réalité de la vie courante. Cette coexistence de plus d'une structure conceptuelle est particulièrement mise en relief par la croyance fort répandue selon laquelle la théorie est une chose et la pratique, une autre. Cette vision des choses soulève toute la question de la pertinence et de la crédibilité des enseignements, tout au moins aux yeux des apprenants. Giordan et al. (1987 a) interprètent ce phénomène complexe de «placage» des connaissances:

> «*Le savoir ne remplit pas un vide mais se substitue peu à peu à des représentations «spontanées» qui expriment la vision que les enfants ont du monde. Ces représentations sont des traductions du réel qui ne résultent pas d'une analyse rigoureuse. Ce sont des images non épurées, qui s'appuient sur des analogies superficielles, dont les termes ne sont pas définis de*

façon univoque et qui sont donc difficilement communicables. Elles ne sont nullement mises en question, aux yeux des enfants, par des contradictions internes qui apparaissent lorsqu'on les analyse avec notre regard d'adulte spécialiste, et ne peuvent être brisées par l'application externe de notre logique. Malgré tous ces caractères, les représentations ne sont pas un jeu gratuit pour les enfants. Elles sont cohérentes pour eux et ont une valeur explicative en fonction de leurs modes de pensée spécifiques. Si l'on ne tient pas compte d'elles, on aboutit semble-t-il à la coexistence chez les élèves de deux systèmes explicatifs parallèles, n'ayant pas prise l'un sur l'autre: l'un est utilisé dans les situations de classe étroitement orientées par le professeur, l'autre resurgit avec ténacité lorsque la situation change. Le premier reste trop verbal et mécanique pour pouvoir être réinvesti dans d'autres contextes que l'école, de telle sorte que le second se révèle plus opérationnel pour l'enfant. De plus, elles conduisent à faire dévier de leur sens le discours du maître et les explications qu'il donne. Les différents éléments sont réinterprétés par chacun en fonction de sa logique individuelle, de son expérience antérieure et des résonances affectives qui sont provoquées chez lui. Le maître et l'élève se trouvent ainsi bien souvent sur des registres totalement différents.» (pp. 34-35)

II. FONDEMENT DES REPRÉSENTATIONS SPONTANÉES

Les représentations spontanées de notions scientifiques ont souvent un fondement essentiellement sensoriel, tandis que les conceptions scientifiques sont éminemment construites. Ainsi, les concepts relativement accessibles tels le poids, la température ou la vitesse sont, pour le moins en première approche, intuitifs, portés par l'évidence et perceptibles par les sens. Par contre, des concepts tels la pression, le courant, l'accélération, l'énergie ou la puissance sont des constructions de l'esprit scientifique, difficiles sinon impossibles à observer directement. De plus, certains concepts sont expliqués dans un contexte idéalisé, loin du quotidien. Pensons à la plume qui, dans le vide, tombe à la même vitesse qu'une bille d'acier, ou encore au fait qu'en l'absence de frottement, un corps en mouvement conservera une vitesse constante, alors que dans la vie courante, il faut lui appliquer une force pour le maintenir en mouvement. Ainsi, les concepts scientifiques constituent des abstractions dont l'objet premier est relié au besoin d'expliquer les phénomènes complexes. Ils sont «*le fruit d'un processus d'abstraction et de formalisation, qui s'établit le plus souvent en rupture par rapport à l'évidence*» (Giordan et al., 1987 b). Pas étonnant alors que ces constructions soient souvent perçues comme n'étant aucunement explicatives de l'évidence perceptible et, de ce fait, en rupture avec la réalité. Après tout, comme le disait Condillac dans son *Traité des sensations* (1754), «*Nihil est in intellectu quod non fuerit in sensu*».

III. AMPLEUR DU PHÉNOMÈNE

Ces considérations amènent plusieurs auteurs et chercheurs à s'interroger quant à la portée possible de toute stratégie de redressement des représentations informelles. On évoque aussi, dans une perspective historique, l'aspect somme toute éphémère de la représentation d'un concept scientifique. Après tout, les représentations acceptées aujourd'hui ont supplanté celles d'hier et elles seront, tôt ou tard, supplantées à leur tour. De plus, ce sont les représentations antérieures qui ont permis d'accéder aux actuelles. Somme toute, il vaudrait mieux essayer de composer avec la réalité.

Cette perspective, que l'on peut qualifier de pragmatique, n'est guère utile face aux exigences de notre contexte d'enseignement technologique. En effet, de multiples travaux de recherche, dont les nôtres, ont mis en évidence l'incapacité des élèves à expliquer et à anticiper le comportement de situations expérimentales simples, et ce, pour des raisons reliées directement aux représentations mises à contribution. La problématique ne saurait pas se résumer à pointer du doigt quelques déviations ou hérésies dans les représentations des élèves par rapport aux canons scientifiques acceptés, mais bel et bien de constater la non viabilité de ces représentations face aux réalités fonctionnelles des systèmes technologiques. Nos élèves sont confrontés à des situations expérimentales concrètes et lorsque les représentations conceptuelles mises en oeuvre sont inopérantes, les conséquences sont observables. Dès lors, la question est de savoir quelle est la meilleure façon de les rendre observables avec un maximum d'économie de temps et de moyens, et comment, à travers ces observations, peut-on optimiser les conditions d'apprentissage afin que les élèves puissent se rendre compte de la nécessité de faire évoluer leurs conceptions.

Ainsi, nous entendons par représentations des élèves l'ensemble d'images, de concepts d'analogies et de modèles constituant des mécanismes complexes et qui servent à former une structure conceptuelle cohérente et particulière à chaque individu. Cette structure détermine le fondement épistémologique, le cadre de référence, auquel doit se conformer tout nouvel apprentissage, à défaut de quoi il y aura obstacle à une véritable assimilation.

Voici en quels termes Astolfi et Develay (1989) considèrent l'importance des représentations dans le processus d'apprentissage :

> *«Le point de départ de l'idée de représentation est devenu classique depuis les travaux de Bachelard, Piaget, Bruner... C'est que tout apprentissage vient interférer avec un "déjà-là" conceptuel qui, même s'il est faux sur le plan scientifique, sert de système d'explication efficace et fonctionnel pour l'apprenant. [...] enseigner un concept de biologie, physique ou chimie, ne peut plus se limiter à un apport d'informations et de structures intellectuelles correspondant à l'état de la science du moment, même si celles-ci sont éminemment nécessaires. Car ces données ne seront efficacement intégrées par l'apprenant que si elles parviennent à transformer durablement ses préconceptions. Autrement dit, un véritable apprentissage scientifique se définit au moins autant par*

les transformations conceptuelles qu'il produit chez l'individu que par le produit de savoir qui lui est dispensé.» (pages 31, 32)

IV. APERÇU DES TRAVAUX PORTANT SUR LES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES EN DYNAMIQUE ÉLÉMENTAIRE

Le champ de la mécanique newtonienne a fait l'objet de plusieurs travaux bien documentés en ce qui concerne la compréhension des représentations conceptuelles des apprenants (du primaire à l'université) par rapport aux concepts qui constituent le fondement de l'édifice théorique de cette discipline. Ces recherches ont porté essentiellement sur les représentations des élèves relativement aux concepts tels le mouvement, la force, le poids et la masse. Ci-après, nous allons illustrer, à la suite d'une étude non exhaustive de ces travaux, que la majorité des représentations construites par les élèves sont erronées lorsque comparées à la norme scientifiquement admise. Ainsi, elles constituent des obstacles à l'apprentissage, bien ancrés dans la structure conceptuelle des apprenants, et qui persistent après un enseignement scientifique.

A. REPRÉSENTATION ANIMISTE DU CONCEPT DE FORCE

Il s'agit d'une représentation mise en évidence par Osborne (1980) et Watts (1983), consistant à attribuer au concept de force des propriétés analogues à celles du domaine du vivant. Ainsi, la force représente une entité vivante capable, par exemple, de battre la force de gravité. Cette représentation est en rupture par rapport à la scientifique voulant que la force est le produit de la masse et de l'accélération de l'objet.

B. REPRÉSENTATION ARISTOTÉLICIENNE DU MOUVEMENT

Les recherches portant sur la compréhension de la nature du concept de mouvement par les élèves de différents pays sont unanimes à préciser que ces derniers réfèrent à des modèles explicatifs qui ont prévalu bien avant l'avènement des travaux de Newton au XVII^{e} siècle. Par exemple, Viennot (1978) à démontré que les étudiants de première année universitaire ont une représentation aristotélicienne du concept de mouvement, voulant que si l'on applique une force constante à une masse, celle-ci se déplacera à une vitesse constante. Autrement dit, il s'agit d'une représentation erronée selon laquelle tout objet en mouvement doit nécessairement avoir des forces agissant sur lui dans la direction du mouvement. Viennot synthétise ce résultat selon les propos suivants:

«[...] *la dynamique newtonienne établit une relation linéaire :* $F = m \bullet \gamma$ *entre le vecteur force exercé sur une masse ponctuelle, et une caractéristique du mouvement, le vecteur accélération, qui est un taux horaire de variation du vecteur vitesse* [...] *Ce modèle formel ne coïncide que très partiellement avec l'approche intuitive généralement répandue selon laquelle un mouvement suppose une force agissant dans le même sens, et l'immobilité,*

même passagère, suppose l'absence de force. C'est entre force et vitesse, plutôt qu'entre force et accélération que, spontanément, on établirait une relation linéaire [...] *Ce type de tendance spontanée survit à l'enseignement.*» (p. 16)

Par ailleurs, d'autres représentations erronées connexes au concept de mouvement ont été caractérisées; en voici un aperçu:

-Watts (1983) a montré que pour des élèves âgés entre 13 et 17 ans, fréquentant des écoles secondaires en Angleterre, un mouvement constant exige une force constante;

-Watts et Zylbersztajn (1981) ont caractérisé, chez une majorité d'élèves du secondaire, la représentation voulant que la quantité de mouvement est directement proportionnelle à la grandeur force;

-Minstrell (1982) observe qu'une grande proportion d'élèves relient le concept de force à une source d'actions; ainsi, aucune force n'agit sur un objet au repos;

-Capell (1987) a observé la représentation erronée avançant qu'une force de frottement a toujours la direction contraire du sens du mouvement de l'objet. Il s'agit d'une généralisation abusive car cette représentation est bonne seulement dans certains cas particuliers.(1)

-Mullet (1990) a démontré, à l'aide d'expériences simples, que des élèves fréquentant des établissements secondaires, (2ème cycle en France), confondent les concepts de poids (poids = masse x accélération due à la gravité) et celui de masse (masse = volume x densité). Voici les explications de cet auteur relativement à deux expériences présentées aux élèves:

«*[...] when subjects are asked to judge the weight or the mass of a variety of objects, fifth-grade students tend to take the same pieces of information - volume, density and gravitation - into account. Thus, over all, there seems to be some justification for saying that the two concepts are not clearly differentiated, as formulated by the equation:*

Weight = volume + density + gravitation = Mass» (p. 223)

The findings clearly indicate that when subjects are asked to express judgements on a quantity of matter scale rather than a mass scale, only two pieces of information affect their judgements: volume and density. The gravitation effect vanishes entirely. This set of results can be defined by the equation:

Quantity of matter = Volume + density = Mass

The integration patterns for the mass and the quantity of matter conditions differ.»(p.224)

(1) Le lecteur désirant plus d'illustrations sur ces situations pourra consulter l'étude réalisée par Salazar et al. (1990).

V. APERÇU DES TRAVAUX PORTANT SUR LES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES EN HYDRAULIQUE

Dans le domaine de l'hydraulique les travaux sont beaucoup moins abondants qu'en dynamique. Quelques auteurs ont exploré les représentations des élèves sur la notion de débit et de pression, particulièrement en raison de leur utilisation fréquente comme analogie pour expliquer les concepts, plus abstraits, de courant et de tension électrique.

Ainsi, Blondin et al. (1992), s'intéressent aux raisonnements des étudiants face à des circuits simples d'hydrodynamique. Plusieurs d'entre eux estiment que le débit est plus faible dans un rétrécissement qu'en amont ou en aval de celui-ci : ainsi, le rétrécissement est le lieu d'une diminution purement locale du débit. Pour d'autres étudiants, le rétrécissement s'accompagne également d'une réduction du débit mais ce dernier conserve cette valeur réduite. D'autres estiment que le débit est plus élevé dans le rétrécissement. Par ailleurs, les auteurs constatent «une sorte de contamination, non exceptionnelle, entre les notions de débit et de vitesse : ainsi un sujet explique que pour que la quantité d'eau par seconde reste constante, le débit doit accélérer.» De plus, Closset (1992), cosignataire du texte précédent, remarque les mêmes tendances en électricité et en hydrodynamique chez les étudiants de 18 ans : les types de raisonnement sont qualitativement semblables. En ce qui concerne le concept de débit, il note l'existence d'un raisonnement selon lequel il n'y a pas de conservation du flux de liquide lorsque celui-ci traverse un rétrécissement. Il constate aussi que «penser qu'une différence de pression est nécessaire pour obtenir un débit est exceptionnel».

De leur côté, Kariotogloy et al. (1993) résument ainsi les résultats de quelques travaux récents :

«Some pupils ignore the incompressibility of liquids, or consider that they do not have constant volume».

«Many pupils find it difficult to understand the concept of pressure, which they confuse with force. Moreover, they attribute vector futures to pressure and consider it to be an extensive quantity lique force».

«Physical phenomena involving equilibrium and movement, like sucking orange juice from a carton, are interpreted in terms of "pressure" and / or "force" rather than in terms of pressure difference».

En ce qui nous concerne, dans Youssef et al. (1991), nous avons exploré notamment les concepts de pression et de débit dans une perspective proche de l'enseignement professionnel de l'énergie des fluides. Voici en quels termes nous avons formulé quelques-unes des représentations des élèves. Les exemples sont tirés de Cervera et al. (1991). Précisons que, pour un lecteur non initié à l'énergie des fluides, ces

formulations peuvent paraître logiques, à première vue ; cependant, elles sont inexactes ou fausses. Nous avons ajouté les insertions en caractère gras pour en faciliter la compréhension.

> «*La pression est une entité matérielle en soi* **(faux)**. *Elle est produite par une pompe* **(faux)**. *On peut la faire circuler, la manipuler, la renvoyer au réservoir ou encore l'utiliser pour faire avancer un vérin.* **(faux)**»
>
> «*La pression est fonction de la vitesse d'écoulement du liquide* **(partiellement vrai)**. *Plus le conduit est petit, plus la vitesse sera grande, et plus la pression augmentera* **(partiellement vrai)**. *La force d'un vérin dépendra donc de la grosseur du conduit.* **(faux)**».
>
> «*Le vide n'est qu'une pression de valeur négative (P=F/S)* **(partiellement vrai)**. *Il peut donc atteindre une valeur négative quelconque, tout dépendant de la force et de la surface* **(faux)**.» *(Il n'est donc pas limité à la valeur de la pression atmosphérique, soit 1,013 bar)* **(faux)**.

Bien entendu, ces formulations ne se retrouvent pas directement dans les réponses des élèves. Elles constituent une synthèse qui sous-tend certains types de raisonnement observés, c'est-à-dire qu'elles semblent faire partie des assises épistémologiques sur lesquelles l'élève base son raisonnement.

VI. L'EXPÉRIMENTATION

Pour caractériser les représentations des élèves en ce qui concerne les concepts mis à contribution en énergie des fluides, nous avons utilisé une démarche de type qualitatif. Ainsi, nous avons d'abord administré un questionnaire écrit, puis nous avons procédé à des entrevues cliniques de type piagétien, au cours desquelles nous avons pratiqué le questionnement épistémologique. Cette démarche à deux volets complémentaires se prête particulièrement bien à ce type de travaux. En effet, l'écrit permet d'obtenir les informations de base sur une population assez grande, alors que les entrevues cliniques, pratiquées auprès d'un nombre restreint d'élèves, permettent, par la suite, d'approfondir la compréhension de leur pensée.

A. DESCRIPTION DE LA POPULATION

La population était constituée d'élèves provenant de quatre collèges (CÉGEP) différents et de diverses régions géographiques ; un de la région métropolitaine de Montréal, un de sa région périphérique, un d'une ville de taille moyenne et un de la région de Québec. Tous les élèves avaient déjà complété le cours *Énergie des fluides 241-520.* (ou l'équivalent) du programme *Techniques de génie mécanique*. Aucune distinction n'a été faite concernant l'âge des élèves, leur sexe, la qualité de leur dossier académique ou autres. Leur contribution dans cette recherche s'est faite en deux temps : premièrement, dans le cadre d'un cours régulier, leur professeur les a informés de notre désir de leur faire passer un questionnaire écrit et a obtenu leur consentement. On peut dire qu'ils y ont participé sur une base volontaire de groupe. Lors d'un cours

ultérieur, ce même professeur a administré le test écrit. Il est à noter que, conformément à une note d'accompagnement du questionnaire (voir annexe IV), le temps alloué pour y répondre n'était pas limité et le professeur était libre de répondre aux questions qui lui paraissaient pertinentes. En tout, soixante-quatre élèves ont rempli le questionnaire écrit.

Deuxièmement, quelques semaines plus tard, le professeur les a de nouveau sollicités afin de participer aux entrevues cliniques, cette fois, sur une base volontaire et individuelle. Vingt-six élèves de trois collèges ont participé à ces entrevues dont la durée variait de trente à quarante minutes.

La taille et la diversité de notre population nous paraissent représenter adéquatement la population cible, compte tenu du fait qu'il s'agit d'une recherche de type qualitatif.

B. CONSTRUCTION DU QUESTIONNAIRE ÉCRIT

Le questionnaire écrit à été élaboré de manière à couvrir les concepts centraux de la discipline. Nous avons élaboré des situations nécessitant une compréhension qualitative des phénomènes mis en cause et avons évité systématiquement les questions faisant appel à la mémorisation ou à l'utilisation de formules et calculs complexes.

La seule formule nécessaire était donnée : PRESSION = FORCE / SURFACE

Chaque situation présentée peut être considérée, du point de vue disciplinaire, comme étant simple, c'est-à-dire comprenant peu d'éléments, mais aussi faisant appel à des connaissances et à des concepts de base.

Afin de tenir compte des diverses pratiques d'enseignement en vigueur dans les collèges, concernant l'usage des unités de mesure, deux versions du test ont été préparées, l'une selon le système d'unités S.I., (identifiée S.I.), l'autre en unités américaines (identifiée U.S.). Les deux versions sont présentées à l'annexe IV.

C. INTERPRÉTATION SCIENTIFIQUE DU QUESTIONNAIRE ÉCRIT

Le tableau suivant établit, pour chacune des situations du questionnaire écrit (version S.I.), l'interprétation disciplinaire, scientifiquement admise, et les concepts qui sont mis à contribution.

INTERPRÉTATION SCIENTIFIQUE DU QUESTIONNAIRE ÉCRIT ET CONCEPTS IMPLIQUÉS

SITUATION	CONCEPTS IMPLIQUÉS	INTERPRÉTATION SCIENTIFIQUE CARACTÉRISANT LA SITUATION
1	VIDE PRESSION ÉQUIL. FORCES	La charge descendra si l'équilibre des forces agissant sur le piston-tige est rompu. Côté piston, la force est nulle car la pression atmosphérique ne peut pas y accéder à cause du bouchon. Côté tige, la pression atmosphérique agit sur la surface annulaire et sur celle de la tige. La force qui en résulte pourra retenir une charge équivalente.
2	PRESSION INCOMPRESS. ÉQUIL. FORCES RÈGLES DU DÉBIT	Le vérin n'avancera pas, car l'huile (incompressible) du côté tige est bloquée. La pression P1 = 150 bar en raison du limiteur de pression ; l'équilibre des forces exige que P2 = 300 bar, soit 2 x P1 car la surface annulaire vaut la moitié de celle du piston.
3	VIDE PRESSION INCOMPRESS. ÉQUIL. FORCES	MONTAGE 1: La charge ne descendra pas, car l'huile (incompressible) côté piston est bloquée. Selon l'équilibre des forces : 1000 N = P1 x 20 cm^2 = 50 N / cm^2 = 5 bar. MONTAGE 2: Le côté piston peut se vider au réservoir Le côté tige est bloqué et seule la surface annulaire n'est pas soumise à la pression extérieure (P_E). Selon l'équilibre des forces: 1000 N + (P_E x 10 cm^2) = P_E x 20 cm^2 ; P_E = 100 N / cm^2 . Cette pression étant supérieure à l'atmosphérique (= 10 N / cm^2), il n'y aura pas d'équilibre. La charge descendra causant le vide du côté tige, donc P2 = 0 bar (en mesure absolue ou -1 bar en mesure relative). MONTAGE 3: Raisonnement analogue à celui du montage 2, sauf que les surfaces sont inversées : 1000 N = $P_{côté\ piston}$ x 10 cm^2 ; $P_{côté\ piston}$ = 100 N / cm^2 donc, P3 = 0 bar (en mesure absolue). MONTAGE 4: Raisonnement analogue à celui du montage 1, sauf que les surfaces sont inversées : P4= 1000 N / 10 cm^2 = 100 N / cm^2 ou 10 bar.
4	ÉNERGIE ET SES TRANSFORMAT. ÉCOULEMENT VISQUEUX DÉBIT PRESSION PUISSANCE	Les fuites internes sont des pertes de débit nettes qui se produisent entre les pièces à cause d'une étanchéité imparfaite. L'usure des pièces augmente ces pertes. Puisque PUISSANCE = DÉBIT x PRESSION, plus les pertes de débit sont élevées, plus l'énergie (ou la puissance) perdue est grande. Cette énergie se transforme en chaleur lorsque le liquide fuit, entre les pièces usées, en écoulement visqueux. Cette chaleur se transmet à la pompe et finalement à l'ensemble du système.
5	ÉNERGIE ET SES TRANSFORMAT. PUISSANCE DÉBIT RÈGLES DU DÉBIT	Puisque le vérin n'effectue aucun travail utile (il n'y a pas de charge), toute l'énergie consommée demeure dans le système. Elle est véhiculée par le débit d'huile et se transforme en chaleur lorsque le liquide passe, en écoulement visqueux, dans l'étrangleur et dans le limiteur de pression. La distribution dans le circuit sera celle du débit, soit 6 / 10 dans le vérin et 4 / 10 dans le limiteur de pression, vers le réservoir.

SITUATION	CONCEPTS IMPLIQUÉS	INTERPRÉTATION SCIENTIFIQUE CARACTÉRISANT LA SITUATION
6	PRESSION DÉBIT RÈGLES DU DÉBIT ÉQUIL. FORCES LOI DE PASCAL	Puisqu'aucune force ne s'oppose à la sortie du vérin, la pression en P2 = 0 bar (pression atmosphérique). Par ailleurs, des 10 litres/min. fournis par la pompe, le limiteur de débit n'en accepte que 4 litres/mn. L'excédent de 6 litres / mn. (règle du débit) est dérivé vers le réservoir par le limiteur de pression. Ce limiteur est donc ouvert, d'où P1 = 150 bar. À la fin de course, tout le débit passe par le limiteur de pression, donc P1 = 150 bar. Aussi, P2 = 150 bar, car le débit par l'étrangleur est nul (loi de Pascal).
7	DÉBIT PRESSION PUISSANCE	Puisque la même pression maximale s'applique aux deux vérins, B pourra exercer une force supérieure en raison de sa surface plus grande. Inversement, puisque le même débit s'applique aux deux vérins, A sortira avec une plus grande vitesse car sa surface est moindre. Cependant, puisqu'un paramètre varie en fonction inverse de l'autre, la puissance des deux vérins sera identique: PUISSANCE = FORCE x VITESSE.
8	PRESSION ÉCOULEMENT VISQUEUX CONSERV. DE L'ÉNERGIE (BERNOUILLI) INCOMPRESS.	Puisqu'il s'agit de l'écoulement d'un liquide (incompressible), le débit est identique à tous les points du conduit. Par ailleurs, selon la loi de la conservation de l'énergie, puisque les trois points (A, B et C) sont au même niveau, l'huile qui s'y trouve possède la même énergie potentielle; elle devrait aussi être soumise à la même pression (tête de liquide identique); cependant, puisqu'il y a écoulement et que la section au point B est moindre, la vitesse et l'énergie cinétique y seront supérieures, ce qui se traduira par une baisse de pression en ce point. Enfin, la pression aux points A et C serait identique dans le cas d'un liquide idéal. Dans le cas de l'huile (écoulement visqueux), la pression en C sera inférieure à celle de A.
9	PRESSION DÉBIT RÈGLES DU DÉBIT ÉQUIL. FORCES	Pendant la montée sans la charge, P1 = 0 bar, car il n'y a pas de résistance à l'écoulement de l'huile. Pendant la montée de la charge, P1 = 8000 N / 20 cm^2 = 400 N / cm^2 = 40 bar. Pendant le pressage de la charge, le vérin n'avance plus (ou très peu). Le débit de la pompe est alors dérivé vers le réservoir (règle du débit) par le limiteur de pression réglé à 100 bar, d'où : P1 = 100 bar. La vitesse du vérin sera la même pendant toute la montée, car la pompe est considérée comme une source de débit constant.
10	PRESSION DÉBIT RÈGLES DU DÉBIT ÉQUIL. FORCES	La montée du vérin chargé avec 1000 N demande une pression moindre (moitié) que celle du vérin avec 2000 N. Le débit ira prioritairement vers le premier vérin (règle du débit), jusqu'à saturation du limiteur de débit (4 litres/mn). Le débit excédentaire (6 litres/mn) ira vers le deuxième vérin. Conséquemment, les deux vérins partiront en même temps (et non en séquence) mais à des vitesses différentes. Ainsi, Q1 = 4 litres/mn, Q2 = 6 litres/mn, Q5 = nul. Pour ce qui est des débits Q3 et Q4 sortant des vérins, ils sont fonction des débits qui entrent et du rapport des surfaces : Q3 = Q1 / 2 =2 litres/mn; Q4 = Q2 / 2 = 3 litres/mn.
11	PRESSION COMPRESSIB. INCOMPRESS. ÉQUIL. FORCES LOIS DES GAZ	SITUATION 1: L'huile étant incompressible, l'application de la charge ne provoque aucune descente du vérin (dessin de gauche). Selon l'équilibre des forces : P1 = 1000 N / 20 cm^2 = 50 N / cm^2 = 5 bar. SITUATION 2: L'air étant compressible, l'application de le charge provoque une descente du vérin. Au départ, l'air se trouve à la pression atmosphérique (≈ 1 bar) Comme précédemment, la pression finale sera: P2 = 5 bar. Le volume initial sera donc réduit d'environ 5 fois, d'où le choix de réponse: avant dernier dessin de droite.

D. ANALYSE DES RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE ÉCRIT

Nous présentons ici le sommaire des résultats du questionnaire écrit ainsi que l'analyse des réponses obtenues. Conformément à la nature même de cette recherche, notre analyse s'intéresse principalement à l'aspect qualitatif des réponses plutôt qu'à la dimension quantitative. Ainsi, nous avons cherché à identifier et à classifier les divers types de réponses des élèves en termes des représentations qu'elles sous-tendent. Il en découle une série d'hypothèses préliminaires de représentations conceptuelles des élèves, lesquelles, par la suite, feront l'objet d'un approfondissement au moyen des entrevues cliniques. La compilation complète des réponses des élèves au questionnaire écrit est présentée à l'annexe V.

Il est à préciser que les formulations des représentations qui suivent sous-tendent des propos qui se retrouvent à plusieurs reprises dans les réponses des élèves. En d'autres mots, nous n'avons retenu que les représentations rencontrées plus fréquemment et qui sont représentatives de la population cible.

Aussi, nous avons retenu, comme représentations des élèves, le fait de ne pas considérer un concept ou une loi qui est nécessaire et incontournable pour expliquer une situation donnée. À notre avis, l'absence répétée de cette considération doit être considérée comme faisant partie intégrante de la structure conceptuelle et du modèle de l'élève. Par le fait même, elle devient une représentation.

La catégorie «BONNES RÉPONSES» comprend, bien entendu, les bonnes réponses, qu'elles soient accompagnées ou non d'une bonne justification, que celle-ci soit complète ou non. La catégorie «RÉPONSES DOUTEUSES» comprend, soit des réponses partiellement fausses, soit des réponses correctes accompagnées d'une fausse justification, soit des réponses incorrectes accompagnées d'une bonne justification. La catégorie «MAUVAISES RÉPONSES» comprend seulement les mauvaises réponses, accompagnées ou non d'une mauvaise justification.

SITUATION 1

BONNES RÉPONSES: 9%	RÉPONSES DOUTEUSES: 16%	MAUVAISES RÉPONSES: 75%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Le vide est impossible; c'est comme une pression négative dont la valeur n'a pas de limite; en conséquence, si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort et il ne bougera pas, pourvu que les parois résistent.

2- Le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse : plus on l'étire, plus il résiste.

3- Seul le port de sortie (dans le sens du mouvement de la charge) sert à déterminer le comportement du vérin. Conséquemment, le vide, dans le port d'entrée, n'est pas à considérer.

SITUATION 2

BONNES RÉPONSES: 41%	RÉPONSES DOUTEUSES: 47%	MAUVAISES RÉPONSES: 12%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Les pressions s'équilibrent (et non les forces), malgré les surfaces inégales d'un vérin.

2- Force et pression sont synonymes.

SITUATION 3

BONNES RÉPONSES: 56%	RÉPONSES DOUTEUSES: 16%	MAUVAISES RÉPONSES: 28%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Le vide est impossible; c'est comme une pression négative dont la valeur n'a pas de limite; en conséquence, si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort et il ne bougera pas, pourvu que les parois résistent.

2- Le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse : plus on l'étire, plus il résiste.

3- Seul le port de sortie (dans le sens du mouvement de la charge) sert à déterminer le comportement du vérin. Conséquemment, le vide dans le port d'entrée n'est pas à considérer.

SITUATION 4

BONNES RÉPONSES: 10%	RÉPONSES DOUTEUSES: 16%	MAUVAISES RÉPONSES: 72%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- L'augmentation de chaleur s'explique par l'augmentation des frottements mécaniques. Ces frottements sont la seule source de chaleur.

2- La pompe usée doit travailler plus fort pour maintenir ses performances; elle se fatigue plus vite. Alors, la chaleur augmente, de manière semblable à un moteur électrique ou à combustion interne.

3- La perte de débit (sous pression) causée par l'augmentation des fuites n'est pas une source de chaleur. Il n'y a pas de transformation d'énergie fluide en chaleur.

SITUATION 5

BONNES RÉPONSES: 3%	RÉPONSES DOUTEUSES: 24%	MAUVAISES RÉPONSES: 73%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- La puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a mouvement (ou un débit), même sans aucune force.

2- La puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a une force (ou une pression), même sans aucun mouvement.

3- Il n'y a pas de transformation d'énergie fluide en chaleur.

SITUATION 6

BONNES RÉPONSES: 45%	RÉPONSES DOUTEUSES: 2%	MAUVAISES RÉPONSES: 53%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- La pression est directement proportionnelle au débit. Si un régulateur de débit coupe de 60% le débit de la pompe, alors la pression sera 60% inférieure.

2- La pression dans un conduit est partout identique, nonobstant la présence d'un régulateur de débit.

3- La pression commence à se «bâtir» (implique : fluide compressible, donc, un certain temps) lorsque le vérin (sans charge) est à la fin de sa course, nonobstant la présence d'un régulateur de débit.

SITUATION 7

BONNES RÉPONSES: 67%	RÉPONSES DOUTEUSES: 2%	MAUVAISES RÉPONSES: 31%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- La puissance est caractérisée seulement par la vitesse (notion de «force vive»). Vitesse est synonyme de puissance.

2- La puissance est caractérisée seulement par la force (notion de «force tranquille»). Force est synonyme de puissance.

3- Le réduction de la section d'un conduit fait augmenter la pression et, donc, la force du vérin.

SITUATION 8

BONNES RÉPONSES: 30%	RÉPONSES DOUTEUSES: 3%	MAUVAISES RÉPONSES: 67%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Le débit n'est pas constant dans tous les points d'un conduit. Il varie en fonction des différentes sections.

2- La pression est identique dans tous les points d'un conduit, nonobstant les différentes sections et le régime d'écoulement.

SITUATION 9

BONNES RÉPONSES: 64%	RÉPONSES DOUTEUSES: 2%	MAUVAISES RÉPONSES: 34%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Le débit d'une pompe varie de manière inversement proportionnelle à la pression. Conséquemment, la vitesse d'un vérin diminue lorsque la charge augmente.

SITUATION 10

BONNES RÉPONSES: 34%	RÉPONSES DOUTEUSES: 2%	MAUVAISES RÉPONSES: 64%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Dans un noeud (un embranchement), la somme des débits (entrants et sortants) peut ne pas être nulle. Conséquemment, les débits sortants peuvent être supérieurs ou inférieurs au débit entrant, en provenance de la pompe.

2- Le débit entrant et sortant d'un vérin est constant, nonobstant les surfaces inégales du piston.

3- Le régulateur de débit détermine le débit qui passe par un conduit plutôt que le débit maximal possible.

SITUATION 1:

BONNES RÉPONSES: 64%	RÉPONSES DOUTEUSES: 5%	MAUVAISES RÉPONSES: 31%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- L'air est très compressible ; sous une pression de quelques bar, il disparaît.

2- L'air et l'huile sont très compressibles; à cet égard, les deux se comportent de manière semblable.

3- L'air et l'huile sont incompressibles; à cet égard, les deux se comportent de manière semblable.

E. SYNTHÈSE DES REPRÉSENTATIONS ERRONÉES IDENTIFIÉES AVEC LE QUESTIONNAIRE ÉCRIT

À partir des hypothèses de représentations erronées identifiées au moyen du questionnaire écrit, nous avons procédé à un regroupement par familles de concepts dans le but d'identifier, si possible, des représentations dominantes qui se trouveraient à influencer un ensemble d'autres réponses. Ainsi, les formulations qui suivent incluent et englobent l'essentiel sinon l'ensemble des formulations précédentes. Elles sont, par le fait même, plus générales et de portée plus universelle. Nous les présentons accompagnées de l'interprétation disciplinaire, scientifiquement admise.

On constatera l'aspect tout à fait contradictoire de plusieurs formulations ; il est entendu que chacune d'elles sous-tend les propos et la structure conceptuelle d'un certain nombre d'élèves.

COMPRESSIBILITÉ ET INCOMPRESSIBILITÉ

No.	REPRÉSENTATION ERRONÉE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
1	L'air et l'huile sont compressibles; à cet égard, les deux se comportent de manière semblable.	L'huile, contrairement à l'air, est pratiquement incompressible.
2	L'air et l'huile sont incompressibles; à cet égard, les deux se comportent de manière semblable.	L'air, contrairement à l'huile, est compressible.
3	L'air est très compressible ; sous une pression de quelques bars, son volume disparaît.	L'air est compressible. Son volume diminue de manière inversement proportionnelle à la pression.

VIDE

No.	REPRÉSENTATION ERRONÉE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
4	Le vide est impossible; c'est comme une pression négative dont la valeur n'a pas de limite ; en conséquence, si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort et il ne bougera pas, pourvu que les parois résistent.	Le vide est l'absence de matière. En énergie des fluides, il s'exprime surtout par l'absence d'air et, donc, de pression atmosphérique.
5	Le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse ; plus on l'étire, plus il résiste.	La pression négative maximale que l'on peut atteindre en faisant le vide est celle de la pression atmosphérique, soit -1 bar environ.
6	Seul le port de sortie (dans le sens du mouvement de la charge) sert à déterminer le comportement d'un vérin. Conséquemment, le vide, dans le port d'entrée, n'est pas à considérer.	La pression négative causée par le vide intervient, dans le fonctionnement d'un vérin, au même titre que toute autre pression.

FORCE ET PRESSION

No.	REPRÉSENTATION ERRONÉE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
7	La pression, dans un liquide, se bâtit graduellement (implique un fluide compressible); elle est produite par la pompe et on peut la faire circuler, la manipuler, la diriger vers un vérin ou la détourner vers le réservoir.	Les liquides étant pratiquement incompressibles, la pression se manifeste immédiatement, dès qu'une force leur est appliquée. Le rôle d'une pompe est de créer un débit ; la résistance à l'écoulement de ce débit causera la pression.
8	Force est synonyme de pression. Conséquemment, dans un vérin, les pressions s'équilibrent (et non les forces), malgré les surfaces inégales de chaque coté du piston.	Force et pression sont deux concepts distincts. Dans un vérin, les forces (et non les pressions) s'équilibrent.

No.	REPRÉSENTATION ERRONÉE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
9	La réduction de la section d'un conduit fait augmenter la pression et, donc, la force d'un vérin situé en aval ; plus la section du conduit est petite, plus la pression disponible est grande. En d'autres termes, pour augmenter le force d'un vérin, il suffit de restreindre la section du conduit qui l'alimente.	La réduction de la section d'un conduit fait augmenter la pression en amont. La pression en aval dépend de la résistance rencontrée après la restriction. En aucun cas la pression en aval ne peut excéder celle en amont.

DÉBIT

No.	REPRÉSENTATION ERRONÉE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
10	Le débit d'un liquide n'est pas constant dans tous les points d'un conduit. Il varie en fonction des différentes sections. Conséquemment, la somme des débits qui entrent et qui sortent dans un noeud (un embranchement) peut ne pas être nulle. Ainsi, dans un noeud à la sortie de la pompe, la somme des débits sortants peut être différente du débit de celle-ci.	Le débit d'un liquide est constant en tout point d'un conduit. Conséquemment, la somme des débits qui entrent et qui sortent dans un noeud (un embranchement) est nulle. Ainsi, dans un noeud à la sortie de la pompe, la somme des débits sortants est égale au débit de celle-ci.
11	Le débit de liquide qui entre dans un vérin est égal à celui qui sort, nonobstant les surfaces inégales de chaque coté du piston.	Le débit de liquide qui entre dans un vérin n'est pas égal à celui qui sort, vu les surfaces inégales de chaque coté du piston.
12	Le régulateur de débit détermine le débit qui passe par un conduit, plutôt que le débit maximal possible.	Le régulateur de débit détermine le débit maximal possible dans un conduit, et non le débit qui passe réellement

RELATION ENTRE PRESSION ET DÉBIT

No.	REPRÉSENTATION ERRONÉE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
13	Le débit d'une pompe volumétrique varie de manière inversement proportionnelle à la pression. Conséquemment, la vitesse d'un vérin diminue lorsque la charge augmente.	Le débit d'une pompe volumétrique demeure constant si on néglige les fuites, nonobstant les variations de pression. Conséquemment, la vitesse d'un vérin sera constante, sans égard à la charge.
14	La pression est directement proportionnelle au débit. Conséquemment, la force d'un vérin augmente lorsque le débit augmente. Ainsi, un faible débit peut expliquer le fait qu'un vérin n'avance pas.	Le débit est constant. La force du vérin est seulement fonction de la surface du piston et de la pression. Tout débit fera avancer un vérin pour autant que la pression nécessaire n'excède pas la valeur maximale fixée par le limiteur de pression
15	La pression dans un conduit est identique partout, nonobstant les différentes sections, le régime d'écoulement ou même la présence d'un régulateur de débit.	La pression dans un conduit varie en fonction des différentes sections et du régime d'écoulement. Ainsi, un régulateur de débit peut causer une forte perte de pression en aval, en raison de sa faible section et des écoulements visqueux qui en résultent.

ÉNERGIE ET CHALEUR

No.	REPRÉSENTATION ERRONÉE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
16	Il n'y a pas de transformation d'énergie fluide en chaleur. L'augmentation de chaleur dans un système hydraulique s'explique par la seule augmentation des frottements mécaniques. Ainsi, la perte de débit causée par les fuites n'est pas une source de chaleur à considérer.	Il y a transformation de l'énergie fluide en chaleur. Ainsi, la perte de débit causée par les fuites est la principale source de chaleur à considérer. La chaleur imputable aux frottements mécaniques demeure sensiblement constante.
17	Une pompe usée doit travailler plus fort pour maintenir ses performances; elle se fatigue plus vite. Alors, la chaleur augmente, comme lorsqu'on surcharge un moteur électrique ou un moteur à combustion interne.	Lors du vieillissement d'un composant, l'usure des pièces entraîne une augmentation des fuites et, conséquemment, de la chaleur.

RELATION ENTRE PUISSANCE, FORCE ET VITESSE

No.	REPRÉSENTATION ERRONÉE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
18	Vitesse est synonyme de puissance. La vitesse suffit pour caractériser la puissance (notion de «force vive»). De même, la puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a mouvement (ou un débit), même sans aucune force.	La puissance est caractérisée par le produit de la vitesse et de la force. Si l'une ou l'autre est nulle, la puissance est nulle.
19	Force est synonyme de puissance. La force suffit pour caractériser la puissance (notion de «force tranquille»). De même, la puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a une force (ou une pression), même sans mouvement.	La puissance est caractérisée par le produit de la vitesse et de la force. Si l'une ou l'autre est nulle, la puissance est nulle.

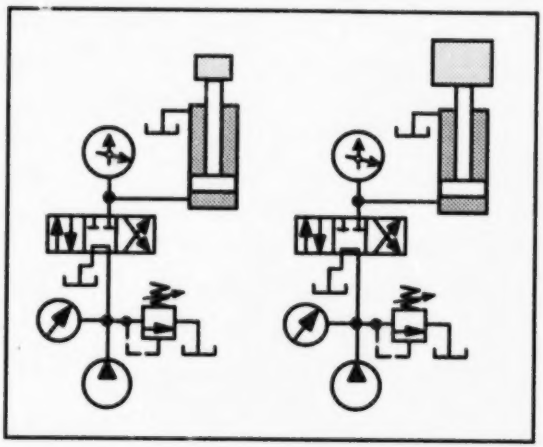
F. CONSTRUCTION DES SITUATIONS POUR L'ENTREVUE CLINIQUE

À partir de l'analyse des réponses au questionnaire écrit et des nombreuses hypothèses de représentations erronées auxquelles elles ont donné lieu, nous avons construit trois situations pour les entrevues cliniques. Dans un premier temps, nous pensions que ces situations devaient découler directement et spécifiquement de chacune des hypothèses mentionnées dans le but de les approfondir et de cerner davantage la pertinence de chacune d'elles. C'est ainsi que, dans un premier temps, nous avons élaboré une série de situations, semblables à celles du questionnaire écrit, qui seraient présentées pendant l'entrevue, cette fois à l'aide d'un logiciel de simulation. Au cours d'essais préliminaires avec des élèves, nous avons constaté que ces situations ne nous permettaient pas d'approfondir la question. De plus, souvent les propos des élèves étaient moins révélateurs, possiblement en raison de l'influence des résultats de la simulation, qu'ils étaient désormais en mesure d'observer. C'est ainsi que nous avons considéré opportun de procéder plutôt avec un nombre restreint de situations qui, tout en demeurant aussi simples que celles présentées dans l'écrit, nous permettraient de questionner les élèves sur un très large éventail de concepts. Nous espérions ainsi, moyennant le questionnement épistémologique, parvenir à mettre en lumière un fil conducteur qui nous permettrait de mieux identifier les fondements de la pensée des élèves, c'est-à-dire, les assises épistémologiques que sous-tendent les diverses représentations identifiées dans l'écrit.

On comprendra que l'interprétation scientifique des situations qui suivent ne puisse pas faire l'objet, ici, d'un développement aussi exhaustif que celui que nous avons élaboré pour les situations du questionnaire

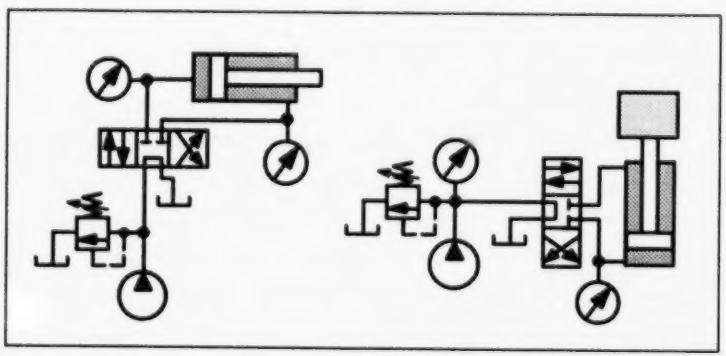
écrit. Ceci notamment en raison des innombrables variations auxquelles ont donné lieu les propos des élèves, tout aussi imprévisibles que variés. Nous exposons cependant les grandes lignes qui sous-tendent l'élaboration de chacune des situations et qui ont orienté le questionnement auprès des élèves.

SITUATION 1



Par cette situation, nous avons cherché à connaître les difficultés conceptuelles des élèves en ce qui concerne, notamment, les notions de pression, de vide d'incompressibilité et de débit, en les interrogeant notamment sur le rôle de la pompe et du limiteur de pression, ainsi que sur l'explication à donner aux différentes pressions enregistrées aux divers manomètres pendant la simulation. On notera la présence d'une charge, seulement dans le circuit de droite. Cette charge gravite sur le vérin, ce qui produira une pression lors de la montée. De plus, lors de la descente, cette charge tombera de manière incontrôlée et formera le vide dans le vérin.

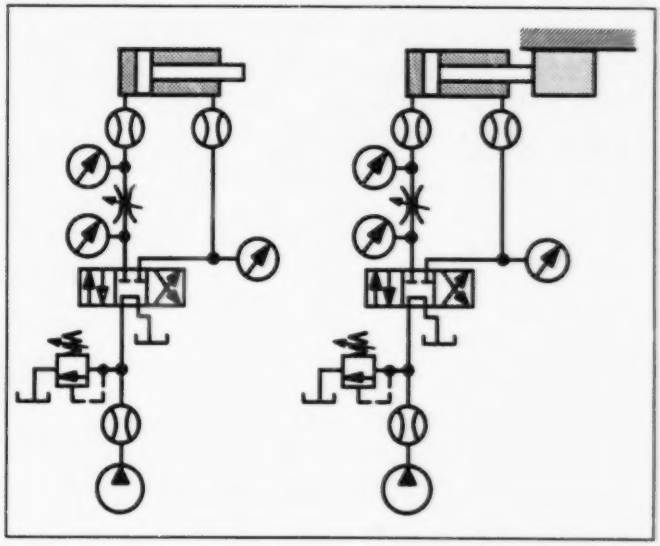
SITUATION 2



Par cette situation, nous avons cherché à cerner les fondements conceptuels de la pensée des élèves en ce qui concerne, notamment, la relation entre le débit et la pression et son influence sur la durée de la course du vérin (à noter la présence d'un chronomètre) et, par voie de conséquence, sur le rôle de la pompe et l'incompressibilité des liquides. D'une certaine manière, cette situation est redondante, car elle reprend certains des concepts explorés dans la précédente. Toutefois, ici, la situation est plus spécifiquement destinée à faire ressortir deux aspects contradictoires dans le discours de plusieurs élèves, c'est-à-dire le fait que, d'une part, ils évoquent l'incompressibilité et le débit constant de la pompe, et, d'autre part, ils estiment que la charge influencera la vitesse du vérin ; en d'autres mots, la

pression influencera le débit. Nous pensons que la durée identique de montée des deux vérins, mesurée pendant la simulation, générera des propos révélateurs chez ceux qui s'attendent à ce que la charge plus lourde nécessite un temps plus long.

SITUATION 3



Par cette situation, nous avons cherché à explorer la pensée des élèves en ce qui concerne des concepts unificateurs, notamment, celui de la conservation du débit et de l'énergie ; les transformations de l'énergie, notamment en chaleur ; le concept de puissance et d'équilibre des forces, le rôle d'un régulateur de débit et son influence sur la répartition du débit dans les branches du circuit (à noter la présence d'un régulateur de débit et de débitmètres). Les élèves étaient notamment questionnés sur les raisons faisant que les pressions avant et après les régulateurs de débit ne soient pas identiques ainsi que sur l'influence de la force de frottement sur l'équilibre des pressions dans la circuit de droite, en comparaison avec celui de gauche.

Précisons, enfin, que les élèves étaient mis au courant que les trois situations présentées concernaient des systèmes hydrauliques. Pour ce qui est des systèmes pneumatiques, en cours d'entrevue, lorsque le contexte était pertinent, on demandait aux élèves de se prononcer sur ce qui serait différent s'il s'agissait d'un système pneumatique. Il est entendu toutefois que la simulation était exclusivement hydraulique. Comme nous le verrons plus loin, les élèves n'arrivent pas à faire une distinction claire entre les phénomènes propres à l'hydraulique et ceux de la pneumatique.

G. MÉTHODOLOGIE DES ENTREVUES CLINIQUES

Les trois situations ont été présentées au moyen d'un ordinateur et d'un logiciel de simulation[2] , de sorte que les élèves pouvaient observer et expérimenter leur comportement à l'écran. Les entrevues se sont déroulées selon le modèle général suivant :

1- Après avoir situé la rencontre dans le cadre d'un prolongement du test écrit, on informait l'élève que l'entrevue devait nous permettre de mieux comprendre sa manière d'enchaîner les raisonnements et les concepts qu'il utilise face à une situation donnée. Afin de minimiser son inévitable nervosité de départ, nous nous sommes efforcés de créer une relation de confiance et de grande simplicité.

2- On présentait brièvement le logiciel et on procédait à des simulations préliminaires afin que l'élève se familiarise avec la nature des informations fournies, et qu'il visualise le comportement du système à l'écran. Une curiosité indéniable résultait de ces simulations, ce qui facilitait la poursuite de l'entrevue.

3- Une première situation était alors présentée, et on demandait à l'élève d'identifier, de verbaliser et d'expliquer ce qu'il observait à l'écran. On procédait aussi à des simulations lui permettant d'observer le comportement de la situation. L'enregistrement sonore de l'entrevue commençait seulement lorsque l'élève se disait à l'aise avec la situation. On lui demandait alors de décrire ce qu'il voyait à l'écran et d'expliquer le comportement de ce qu'il observait. Au fil de ses explications, nous pratiquions le questionnement épistémologique de type piagétien, consistant à tenter de mettre en lumière les fondements de sa pensée. Ainsi, nous intervenions de manière à lui faire préciser le pourquoi de telle ou telle affirmation, sur quoi se basait-il pour dire telle chose, qu'est ce qu'il entendait par... comment expliquer telle autre situation, à quoi faisait-il référence, etc.

La transcription complète des propos des élèves est disponible sur demande. Compte tenu du volume important (135 pages et environ 15 heures d'enregistrement), ainsi que des multiples longueurs aussi inévitables qu'inutiles, nous n'avons pas considéré opportun de l'inclure dans ce rapport. Nous nous limiterons à en présenter la synthèse complète accompagnée, bien entendu, de nombreux extraits parmi les plus significatifs.

H. ANALYSE DES RÉSULTATS DES ENTREVUES ET SYNTHÈSE DES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES

Nous présentons ici l'analyse des propos recueillis durant les entrevues, ainsi que la synthèse des représentations conceptuelles des élèves. Cette synthèse tient compte des hypothèses formulées à partir des résultats du questionnaire écrit ainsi que des résultats des entrevues. Alors que les premières

[2] Les caractéristiques de ce logiciel sont abordées dans le chapitre III.

formulations découlaient directement de l'analyse des réponses, celles-ci constituent un essai d'interprétation plus globale. Nous avons cherché à identifier le lieu commun d'un certain nombre de représentations en tentant d'inverser la démarche d'analyse ; en d'autres mots, nous avons cherché à imaginer une manière de se représenter certains concepts qui contribuerait à accommoder sinon à rendre plus cohérents un certain nombre de propos des élèves. Bien entendu, cette démarche n'est pas sans risque d'interprétation abusive, car elle implique des extrapolations dans un domaine qui ne relève pas des sciences exactes. Malgré ce risque, nous sommes persuadés de son intérêt, pour autant qu'elle soit faite avec circonspection, compte tenu qu'elle peut contribuer à atteindre une meilleure compréhension des représentations plus fondamentales des élèves et de leur structure conceptuelle. En fait, les réponses obtenues à l'aide du questionnaire écrit se sont avérées courtes et très succinctes, comme prévu, et rarement accompagnées de justifications élaborées, nonobstant notre demande répétée d'explications dans le questionnaire. C'est pourquoi les informations obtenues devaient être bonifiées par les propos recueillis lors des entrevues cliniques, en ce sens que ces dernières permettent d'établir de nouveaux liens et d'approfondir la compréhension de la pensée des élèves par un suivi serré de leurs propos. Par ailleurs, il est clair que le questionnaire écrit permet d'atteindre une population très large, ce qui serait difficilement réalisable au moyen des entrevues.

1. COMPRESSIBILITÉ ET INCOMPRESSIBILITÉ : LES LIQUIDES SONT HAUTEMENT COMPRESSIBLES, COMME LES GAZ

REPRÉSENTATION INFORMELLE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
La pression se bâtit progressivement, avec le temps, autant en milieu liquide que gazeux, à mesure que le débit s'accumule (se comprime). Cette accumulation explique que, dans un conduit, le débit varie en fonction de la section. En d'autres mots, le débit d'une pompe varie de manière inversement proportionnelle à la pression. Il en découle qu'un vérin sans charge avancera plus rapidement qu'un autre vérin identique, avec charge : les pressions étant différentes, les débits le seront aussi.	Les liquides, contrairement aux gaz, sont pratiquement incompressibles. La pression est le résultat de l'application d'une force sur une surface ; elle se manifeste immédiatement. Par ailleurs, le débit d'une pompe volumétrique est constant si on néglige les fuites. Il en découle que la vitesse d'un vérin sera constante, sans égard à sa charge.

Cette représentation est fort répandue. Comme nous le verrons, sa manifestation prend des formes très variées.

Les situations Nos. 2 et 3 ont permis d'élucider cette représentation. La situation No. 2 présentait deux circuits identiques, sauf pour ce qui est de la présence d'une charge dans un vérin et pas dans l'autre. Le chronomètre permettait de constater que la montée se faisait avec des temps identiques dans les deux cas. Les élèves étaient appelés à discuter de la logique de ce qu'ils observaient. La situation No. 3 présentait, encore une fois, deux circuits identiques, sauf pour les charges. La simple présence d'un régulateur de débit, dont le réglage se trouvait à restreindre le débit en provenance de la pompe, permettait d'explorer ce qu'il arrivait au débit excédentaire.

ÉLÈVE 6

Q : Comment expliquer qu'il y en a 6 ici et 5 là ? [Situation 3, en amont et en aval du régulateur de débit].
R : HÉSITATION. A cause du régulateur de pression.
Q : Ça ici!
R : Oui.
Q : Le régulateur de débit. OK. Mais qu'est-ce qu'il fait, lui? Il en sort 6 ici [de la pompe], il en passe 5 là. Est-ce qu'il la mange, cette huile?
R : Non.
Q : Qu'est-ce qu'il fait?
R : Sauf qu'il crée une pression, autrement dit, il rapetisse le passage, fait qu'il en passe moins. C'est ça qui crée la pression de 50 qu'il y a là [en amont du régulateur de débit].
Q : Et celui qu'il y a de trop, qu'est-ce qu'il devient?
R : (...) Celui qui manque?
Q : Celui qui manque. Où est-il passé?
R : HÉSITATION. Bien, toujours dans le circuit.
Q : Est-il en attente quelque part, est-il disparu quelque part, est-il allé ailleurs?
R : Non, il est en attente dans le régulateur de débit. [indique l'entrée du régulateur]
Q : Il est en attente dans cette région ici, avant le limiteur de débit.
R : C'est ce qui explique la pression de 50 de ce côté-là, et qu'il n'y en a pas de l'autre côté.

Ces propos font référence à la situation No. 3 et illustrent bien le concept de compressibilité et d'accumulation du débit excédentaire qui reste en attente, en amont du régulateur de débit, et qui crée la pression. Nous pouvons constater que ce même élève tient des considérations semblables relativement à la situation No. 2 :

Q : (...) Tu m'as dit qu'une plus lourde charge, ça prendrait plus de temps [pour monter]. Ca ne semble pas être le cas ici. Peux-tu imaginer pourquoi? Tu essaies de m'expliquer pourquoi?
R : Parce qu'il sort le même débit, sauf que, vu que la charge est plus grosse, la pression est 40 fois plus grande, elle est 40 au lieu de 1.
Q : Et malgré que les deux charges soient très différentes et que la pression soit très différente. Tu trouves logique que le temps soit le même?
R : HÉSITATION. Non.
Q : Qu'est-ce qu'il peut y avoir alors d'autre?
R : HÉSITATION.
Q : Tu m'as dit tantôt: c'est le débit?
R : Oui. Le débit est le même, c'est deux pompes pareilles.

Q : Si le débit est le même, mais que les pressions ne sont pas pareilles, est-ce que ça se peut que la vitesse soit la même?
R : HÉSITATION.
Q : Non.
R : Si le débit est pareil, mais que la pression n'est pas la même, si la vitesse...
Q : (...) ici tu me dis, le débit est le même, mais les pressions, on le voit, ne sont pas les mêmes. PAUSE.
R : HÉSITATION.
Q : C'est pas évident, hein!
R : Pourtant le débit est le même pour les deux, vu que l'autre a une charge plus lourde, il y a une plus grande pression. Mais c'est plus dur, est plus dur à monter. HÉSITATION. Ben, comme je disais tantôt, d'après moi, le temps n'est pas le même... mais là on voit que le temps est identique.

Dans ces propos on peut observer aussi le caractère dynamique (changeant) des représentations évoquées : d'abord, l'élève justifie les temps identiques par le fait que le débit est constant ; par la suite, interrogé sur la logique de ce qu'il observe, il exprime sa propre conception, laquelle est en contradiction –il le constate– avec les résultats qu'il observe pendant la simulation.

ÉLÈVE 15

Q : ...et pourquoi elle [la pression au manomètre pendant la montée du vérin et à la fin de course] passe de 20 à 50 ? (...)
R : La charge est toujours la même, mais la charge crée une restriction encore là. HÉSITATION. Il se crée une restriction, puis il se bâtit une pression.
Q : OK! Combien de temps doit-on prendre, à peu près, pour bâtir la pression comme tu me dis, pour passer... mettons de 20 à 50 ?
R : Bien, quand qu'il va... mé [dès que] qu'il arrive au fond du vérin.
Q : Quand il arrivera au fond. Qu'est-ce qui se passe... la pression monte. Combien de temps ça doit prendre normalement pour passer de... mettons de 20 à 50 ? Est-ce que c'est une question de secondes, de plus que ça ou de moins que ça?
R : C'est une question de secondes, le temps de la sortie du vérin.
Q : Oui, mais quand le vérin frappe la fin de course?
R : Ah! c'est minime.
Q : C'est-à-dire?
R : Ça ne peut pas être plus que 5 secondes, c'est...

On retrouve, dans la formulation (très répandue) «bâtir une pression», le concept de compressibilité et d'accumulation du débit excédentaire qui crée la pression. L'indication d'un temps relativement court semble illustrer une contradiction présente dans l'esprit de plusieurs élèves selon laquelle il faut un temps, mais pas trop... car ils affirment volontiers que l'huile est incompressible.

ÉLÈVE 12

Q : (...) Si je changeais le débit de la pompe, (...) les pressions changeraient-elles tu m'as dit ? [situation 3].
R : Oui.
Q : Les pressions en amont [du limiteur de débit] changeraient. Et si je changeais la valeur du limiteur de débit, la pression en aval ne changerait pas, tu me disais, et celle en amont...
R : Oui.

Q : Elle changerait. Pourquoi elle changerait cette pression avant le limiteur.
R : (...) Mettons qu'il en laisserait passer encore moins, puis là si tu le règles au plus petit, ou plus grand, s'il en laisserait passer moins, bien, il se créerait une plus grosse pression avant.
Q : Pourquoi il se créerait une plus grosse pression?
R : Parce que vu que la pompe envoie plus d'huile, l'autre en laisse passer autant qu'en envoie beaucoup, pourquoi il en laisse passer autant plus, si elle en envoie beaucoup, bien, elle va attendre au limiteur de débit. Puis, plus qu'il y en a, plus qu'il va y avoir de la pression.
Q : Et à la limite, si je fermais complètement ça ici, si le limiteur de débit était fermé complètement?
R : L'huile ne passerait pas du tout.
Q : L'huile ne passerait pas du tout... et là j'obtiendrais quelle pression?
R : 50.
Q : 50. Pourtant avec un 5 ici [au limiteur de débit], tu vois, avec le 5 qu'il y a ici, j'obtiens déjà 50... Est-ce que tu comprends ce que je veux dire?
R : HÉSITATION.
Q : Est-ce que tu peux m'expliquer ce qui se passe?
R : HÉSITATION.
Q : C'est pas évident...
R : HÉSITATION. D'après moi, ça dépend toujours de l'ouverture du limiteur. Si tu l'ouvrirais bien grand, peut-être que la pression serait...

Ces propos reprennent l'essentiel de ceux présentés précédemment. Par ailleurs, ici, l'élève prévoit une montée de la pression si on ferme le régulateur, mais constate qu'il y a une certaine incohérence dans ses propos, sans toutefois parvenir à l'expliquer.

ÉLÈVE 18

Q : Quand je vois ici [situation 1], dans ce circuit [celui de gauche], il n'y a pas de charge, que la pompe travaille, mais qu'il y a 0 au manomètre, et que je vois ici, dans l'autre circuit [de droite], qu'il y a 30 au manomètre. Comment expliquer le rôle de la pompe? Qu'est-ce qu'elle fait dans les deux cas, la pompe?
R : Elle envoie un débit.
Q : (...) Est-ce que la pompe a d'autres rôles que d'envoyer un débit?
R : HÉSITATION. Euh! créer la pression... je suppose.
Q : Est-ce que c'est le rôle de la pompe que de créer une pression, c'est ça que tu me dis?
R : Non, son rôle c'est d'envoyer un débit.
Q : Et ça n'a rien à faire avec la pression?
R : HÉSITATION. (inaudible) Plus que la pression va être haute, plus (inaudible) de débit...
Q : Le débit dans la pompe sera...
R : Proportionnel.
Q : Proportionnel à la pression ?
R : Oui! à la masse ou à une pression, une pression du mouvement de vérin, (...) Plus que la charge va être lourde, moins que le vérin va sortir vite ; je pense que la quantité de la pompe, va toujours envoyer la même quantité d'huile.
Q : (..) Comment expliquer alors que, si le débit est le même, la vitesse change? La vitesse du vérin change (...)
R : HÉSITATION. Non, ça ne marchera pas ça, si tu as toujours un même débit...
Q : Est-ce qu'on a toujours le même débit?
R : Ça varie selon la charge...
Q : Le débit varie-t-il selon la charge?
R : Si tu y mets une charge nulle, il va sortir super vite.

(PLUS LOIN...)

Q : (...) Comment expliquer qu'il y ait le même temps [situation 2], alors que les charges sont différentes?
R : La pompe débite le même débit dans les deux cas.
Q : Oui! PAUSE. Mais est-ce que ça suffit à expliquer le même temps?
R : Non.
Q : (...) Comment est-ce possible?
R : C'est la pompe qui (inaudible). HÉSITATION. le débit est pareil. Si le débit est pareil...
Q : Qu'est-ce que tu aurais pensé que ça serait en termes de temps?
R : Moi, j'aurais pensé que le premier aurait sorti plus vite que le deuxième à cause de la charge.

(PLUS LOIN...)

Q : (...) Peux-tu m'expliquer pourquoi il y a ici 0 et 50 ailleurs ? [situation 3].
R : Parce qu'ici tu as 6 litres par minute que la pompe débite, puis ici, avec le limiteur de pression [lire : régulateur de débit], tu lui en donnes juste 5 à la sortie, donc il va se créer une pression avant ça.
Q : Pourquoi il se créera une pression?
R : Parce que le débit ne passe pas au complet, il y a une restriction.
Q : Et qu'est-ce qu'il devient le reste alors?
R : Bien, il est en attente ailleurs, c'est ça qui fait créer une pression.
Q : Il est en attente où? Où est-ce qu'il reste en attente?
R : Dans la ligne [en amont du régulateur de débit].
Q : Dans la ligne ici?
R : Oui.
Q : Qu'est-ce qui se produit alors avec ce débit-là, il s'accumule?
R : Oui, il s'accumule, puis c'est ça qui crée une pression de 50 bar, la pression est identique ici...
Q : Si je changeais cet ajustement ici du régulateur de débit, si je mettais... mettons la moitié, mettons que je mettrais 2 1/2 plutôt que 5...
R : Bien là, les pressions seraient beaucoup plus élevées, très élevées.
Q : Les pressions ici seraient plus grandes?
R : Oui.

Ici, l'élève paraît relativement cohérent dans l'ensemble de ses propos. Il semble posséder une structure conceptuelle assez stable, à l'intérieur de ses fausses représentations. D'abord, il relie le rôle de la pompe à la production d'un débit et, ...possiblement, d'une pression. Il éprouve de la difficulté à dissocier ces deux concepts étant donné que, pour lui, ils ont un lien de proportionnalité. En fait, il affirme que le débit de la pompe est constant mais –implicitement– puisque celui-ci peut s'accumuler selon la pression, la vitesse des vérins sera différente. Par la suite, il expose clairement sa propre conception malgré qu'il la perçoit en contradiction avec les résultats de la simulation. Ces propos illustrent bien, aussi, le concept de compressibilité et d'accumulation du débit qui reste en attente et qui crée la pression : une plus grande fermeture du régulateur fera augmenter la pression (implicite : plus rapidement).

2. LE VIDE :

LE VIDE EST IMPOSSIBLE CAR LES LIQUIDES NE SONT NI COMPRESSIBLES NI EXPANSIBLES.

REPRÉSENTATION INFORMELLE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
Le vide est impossible; si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort, et le vérin ne bougera pas, pourvu que les parois résistent à l'implosion. En fait, faire le vide consiste à décompresser, à étirer l'air qu'il y a, soit dans le récipient, soit dans le liquide, sous forme de particules. C'est une pression négative dont la valeur n'a pas de limite ni de lien avec la pression atmosphérique. Ainsi, le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse; plus on l'étire, plus il résiste.	Le vide, c'est l'absence de matière, donc absence d'air et de pression atmosphérique. Un vérin peut se déplacer, même sans aucun apport d'huile, si les forces menantes suffisent pour créer le vide, c'est-à-dire, pour créer une pression de -1 bar, soit la valeur négative de la pression atmosphérique.

Le fondement de cette représentation, très répandue aussi, serait reliée essentiellement au concept d'incompressibilité des liquides : puisqu'un liquide n'est pas compressible, il n'est pas expansible ; il n'y a que les gaz qui le sont. Aucune relation entre le vide et la pression atmosphérique n'est évoquée.

Telle que définie ici, cette représentation englobe les diverses hypothèses de représentations, relativement au phénomène du vide, que nous avons formulées précédemment, dans ce rapport, mais aussi dans nos travaux antérieurs.

Les implications de cette représentation sont de la plus haute importance. En effet, le concept du vide intervient dans la compréhension du principe de fonctionnement et du rôle de la pompe, du moteur et du vérin. Particulièrement pour ce qui est du vérin, on a souvent tendance à négliger le vide sous prétexte que la seule différence de 1 bar (la pression atmosphérique) n'est guère significative, nous en convenons, dans la balance des grandes pressions qui sont généralement en cause dans les systèmes hydrauliques. Or, cette représentation implique qu'aucune charge ne peut provoquer le vide dans un vérin. En d'autres mots, il n'y aura pas de danger de chute incontrôlée d'une charge puisque le vide est tout simplement impossible.

Les propos qui suivent illustrent cette représentation à travers de multiples facettes. Ils font référence à la situation No. 1 qui présente deux circuits identiques, sauf que, dans un cas, le vérin est en position horizontale, sans charge, et, dans l'autre cas, il est en position verticale, avec un poids qui gravite sur sa tige. Lors de la descente du vérin, ce poids provoque le vide et la chute incontrôlée de la charge. Les élèves

sont questionnés sur l'explication à donner aux variations de pression observées et au phénomène qui se produit lors de la chute de la charge.

ÉLÈVE 7

Q : (...) Ça c'est...? [Situation 1, circuit de droite, partie supérieure du vérin, pendant que la pompe est en train de remplir le vide]
R : Le vide.
Q : Le vide...
R : C'est-à-dire le vide, l'air plutôt, l'air qui va s'évacuer.
Q : C'est de l'air ou c'est le vide?
R : Euh! oui! HÉSITATION, il y a toujours de l'air qui rentre par les joints là.
Q : C'est de l'air qui vient des joints?
R : Oui! Entre l'espace, entre les joints puis la tige.
Q : Qu'est-ce qu'il devient, cet air là, une fois que le vérin est rempli comme ça?
R : J'imagine que l'air est chassé à travers le système, ça doit faire de la turbulence un peu là. Non, ça ne peut-être pas là. Je ne sais pas, là.
Q : (...) Si cette charge était plus grande, mettons le double, est-ce que cette mesure, ici [manomètre], serait la même, ce moins 1 serait le même ou changerait? Je double la charge, qu'est-ce qui arrive avec le moins 1?
R : Ça va descendre plus vite.
Q : (...) D'après toi, qu'est-ce qu'il y a en ce moment, ici? [Même partie du vérin, dans le circuit de droite, après avoir enlevé le conduit supérieur. Ainsi, l'orifice du vérin est considéré bouché].
R : HÉSITATION
Q : Est-ce qu'il y a de l'air, d'après toi, ici, en ce moment?
R : HÉSITATION. Oui (...) Si ton orifice est bouché...
Q : Le vérin est bouché ici en haut, oui!
R : Bon, puis tu veux évacuer ton huile par là, il faut qu'il rentre quelque chose là.
Q : Pour que ceci descende... ?
R : Faut qu'il rentre quelque chose en arrière.
Q : Et s'il n'y a rien qui rentre, il ne peut pas descendre?
R : Non, non, non, ben non! il faut que ce soit compensé.
Q : Donc, on ne peut pas faire le vide?
R : Puis moi, je dis que c'est de l'air qui rentre...

À noter, dans ces propos, la référence à la présence d'air pour expliquer le vide. La provenance de l'air est peu plausible et la cause de sa disparition, après remplissage, demeure inconnue de l'élève. L'impossibilité du vide s'exprime clairement par ce «Faut qu'il rentre quelque chose en arrière» et par la conclusion «Puis moi, je dis que c'est de l'air qui rentre...».

ÉLÈVE 2

Q : (...) et qu'est-ce que c'est le vide?
R : Fait que là il y a un vide d'air, d'huile, mais s'il y a de l'air qui est expansée au coton [beaucoup].
Q : Est-ce que c'est de l'air donc? Ce que j'ai ici, c'est de l'air?
R : OUI! C'est plutôt un vide, oui!
Q : Y a-t-il une différence entre l'air et le vide?
R : Dans le vide, il y a de l'air (rire).
Q : Dans le vide, il y a de l'air... Puis dis moi, si ça c'est le vide et qu'il y a de l'air, une fois que ça se comble, que ça se remplit, comme maintenant, qu'est-ce qu'il devient? Où est-il passé?

R : Le vide. C'est probablement... moi, ce que je peux comprendre, c'est que dans le vérin il y a peut-être des petites particules d'air qui sont dedans, puis quand qu'il y a le vide, eux-autres sont expansées, les particules, puisque quand l'huile est remontée, l'air est recompressé comme qu'il était avant.
Q : OK. Voyons voir. Si je mettais une charge plus forte ici... Qu'est-ce que ça changerait?
R : Pendant la descente?
Q : OUI.
R : Euh! Il descendrait plus vite, il y aurait une pression, ici, plus grande, une négative plus grande.
Q : Ici, la pression négative serait plus grande?
R : Je pense, OUI
Q : Si je doublais ça maintenant. Est-ce que j'aurais deux fois moins... si je doublais la charge?
R : OUI, OUI.
Q : Est-ce qu'il y aurait une limite? C'est-à-dire, est-ce que je pourrais, à la limite, mettre une énorme charge ici, est-ce que je pourrais avoir un vide de mettons - 5, - 10, - 50 ? (...)
R : Euh! A un certain point NON parce que... c'est ça, le volume est un volume X, donc ton volume ne change pas, ton vide va rester.
Q : Si le vérin était plus long et que je pouvais faire descendre la charge plus loin à l'arrière?
R : Oui là, à cause du débit, il y aurait un débit que... donc il descendrait plus vite, donc le volume d'air serait plus petit, il serait plus grand, je veux dire.
Q : Donc le vide serait plus grand ou plus...?
R : Plus grand.

On remarque encore, dans ces propos, la référence à l'air, ici sous forme de particules dans l'huile, pour expliquer le vide. L'élasticité du vide s'exprime par la résistance croissante (pression négative plus grande).

ÉLÈVE 8

Q : (...) Et ça ici, c'est quoi?
R : Ça c'est le volume d'air qui entre, avant que le vérin soit plein.
Q : Un volume d'air qui est là, avant que le liquide ne le remplisse?
R : Oui.
Q : D'où vient cet air?
R : HÉSITATION. Il ne peut pas y avoir de l'air dans... OUI. PAUSE. C'est un vide que le piston crée en descendant là.
Q : Un vide?
R : Que le piston crée en faisant (inaudible).
Q : C'est quoi le vide?
R : C'est comme, en fait, de l'air. Je ne sais pas... je ne sais pas comment expliquer ça. Ça fait comme une succion, puis y a pas rien là, il y a de l'air tout de bien, un peu, là.
Q : D'après toi, il y aurait de l'air ici, un peu?
R : Oui, de l'air, c'est parce qu'il n'y a pas de place pour l'entrée mais il ne retient pas assez pour empêcher la charge de descendre.
Q : D'accord; est-ce qu'il peut y avoir de l'air ici, ou, en d'autres mots, c'est le vide? Est-ce que ça prend un peu d'air pour qu'il y ait le vide?
R : Oui.
Q : On ne peut pas avoir le vide sans air?
R : Je ne sais pas trop là.
Q : (...) Si cette charge était deux fois plus grande là. OK. Tu m'as dit ça descendrait peut-être un peu plus vite?
R : Oui, il y aurait plus de vacuum [vide], fait qu'il y aurait tout de bien moins de...
Q : Moins de?
R : Y aurait plus de «vacuum» [vide], il y aurait plus de pression négative.

Q : Donc ici, il n'y aurait pas moins 1. Qu'est-ce qui pourrait y avoir à ce moment-là?
R : Moins 2, selon la charge.
Q : Si je mettais, mettons 10 fois plus de charge?
R : Oui, il y aurait moins 2 ou...
Q : Il y aurait plus de pression négative?
R : Oui.
Q : Est-ce qu'il y aurait une limite à cette pression négative?
R : Oui, la limite des «seals» [joints] là, à un moment donné...
Q : Mettons que les joints d'étanchéité résistent, que tout est parfaitement étanche et qu'il n'y a rien qui casse...
R : Bien, ça monterait pas mal là... Je ne sais pas là. Ça tirerait pas mal de vacuum, ça reviendrait à faire le principe de la pompe là, c'est comme une pompe à pistons là. Ça monterait pas mal haut.

Dans ces propos, l'élève fait référence, encore une fois, à l'air pour expliquer le vide. La limite de pression négative est reliée à la résistance des joints : s'ils résistaient, alors «ça monterait pas mal haut».

ÉLÈVE 15

Q : (...) Et la partie blanche, c'est quoi?
R : Ça devrait être de l'air.
Q : Ça doit être de l'air?
R : Ben, de l'air, ça ne peut pas être le vide...
Q : Ça ne peut pas être le vide?
R : Si ça serait le vide, le vérin il ne descendrait pas comme ça.

Q : Le vide pourrait empêcher le vérin de descendre?
R : Oui.
Q : Peu importe la charge que l'on ait ici?
R : Oui.
Q : Donc, d'après toi, même si j'avais une charge beaucoup plus grande ici, je ne pourrais pas faire le vide, c'est ce que je comprends? Donc, ça serait quoi d'après toi? Ça serait quoi cette partie-ci, ça serait... ?
R : Ça serait de l'air mais... on ne peut pas avoir de l'air dans un système hydraulique.
Q : Tu me dis que ça ne peut pas être de l'air, ça ne peut pas être le vide non plus... Ce moins 1 ici, regarde le manomètre ici! Peux-tu me dire qu'est-ce que c'est?
R : Ça pourrait être le vide, mais en pratique ça ne peut pas marcher.
Q : Pourquoi?
R : Parce que l'huile n'est pas compressible.
Q : Parce que l'huile n'est pas compressible, on ne peut pas faire le vide?
R : On ne peut pas faire le vide, à moins qu'on ait une pompe à vide.
Q : Mais ça serait quoi, une pompe à vide, à ce moment-là?
R : Une pompe à vide, un accumulateur!
Q : Explique-moi plutôt, qu'est-ce que c'est le vide?
R : Le vide...
Q : Tu me dis que ça ne se peut pas parce que l'huile n'est pas compressible... c'est quoi le vide?
R : Le vide, c'est ... c'est une absence d'air, je ne sais pas comment définir ça là.
Q : C'est une absence d'air. Mais est-ce qu'il peut y avoir le vide dans un volume quelconque? Est-ce qu'on peut avoir, mettons, une bouteille avec le vide dedans?
R : HÉSITATION.
Q : Tu ne sais pas? Et pourtant tu me dis que ça, ici, ce n'est pas de l'air, c'est ça?
R : Non, ça ne peut pas être de l'air parce qu'il n'y a pas une place qui peut prendre de l'air.
Q : Et pourtant, il a de quoi qui se produit, tu ne peux pas interpréter ça?

R : Sur le logiciel, ça pourrait être le vide.
Q : Sur le logiciel, ça pourrait être le vide.
R : Mais en pratique, ça m'étonnerait...

On observera dans ces propos, encore une fois, la référence à l'air pour expliquer le vide, malgré que «on ne peut pas avoir de l'air dans un système hydraulique». On évoque clairement la capacité du vide d'empêcher la descente de n'importe quelle charge et que «en pratique ça ne peut pas marcher» car «l'huile n'est pas compressible». Finalement, on doute de la valeur de la simulation : «Sur le logiciel, ça pourrait être le vide (...) mais en pratique, ça m'étonnerait... ».

Nous en concluons que, dans tous leurs propos, les élèves conçoivent le vide non pas comme une absence d'air et de pression atmosphérique, mais bien au contraire, comme la présence d'air soumis à une décompression. En fait, ils expliquent le phénomène qu'ils observent pendant la simulation à partir de la prémisse voulant que, dans le vérin, il y ait une certaine quantité d'air sur lequel s'effectue cette décompression qu'ils qualifient de vide. Cependant, pour eux, le vrai vide demeure impossible.

3. FORCE ET PRESSION : ÉQUILIBRE DES FORCES ET ÉQUILIBRE DES PRESSIONS

REPRÉSENTATION INFORMELLE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
Les concepts de force et de pression sont équivalents. Ainsi, par exemple, dans le cas d'un vérin, la pression détermine sa force et réciproquement. Il en découle que, dans un vérin, les pressions s'équilibrent (et non les forces), malgré les surfaces inégales du piston.	Le concepts de force et de pression sont distincts. Ainsi, par exemple, pour déterminer la force d'un vérin, la pression doit être multipliée par la surface du piston. De plus, ce sont les forces qui s'équilibrent (et non les pressions), à cause des surfaces inégales du piston.

Cette représentation a déjà été mise en lumière par des chercheurs au cours de travaux portant sur les concepts de base en physique mécanique. En ce qui nous concerne, nous avons constaté son existence dans les réponses au questionnaire écrit. Les entrevues ont contribué à l'expliciter davantage. C'est particulièrement à la situation No. 3, vers la fin de l'entrevue, alors que nous enlevions aux vérins le conduit de retour au réservoir, de manière à bloquer leur mouvement, que font référence les propos suivants.

ÉLÈVE 12

Q : (...) Est-ce que ça te paraît logique que la pression de ce côté-ci du vérin ne soit pas la même que celle de l'autre côté?
R : Non, mais il bougerait [le vérin], il me semble que si une pression serait plus forte d'un bord que de l'autre, ça devrait bouger.
Q : Pourtant il ne bouge pas. Tu ne vois pas d'explication à ça?

R : Non.

ÉLÈVE 3

Q : (...) et dans ce circuit-ci qu'est-ce qui se passe?
R : (...) le vérin ne peut plus avancer parce que l'huile qui est du côté de la tige ne peut plus sortir nulle part. Puis l'huile est incompressible, ça veut dire qu'il y a plus de pression.
Q : OK. Pourquoi y a 83 [circuit de gauche] de ce côté-ci alors qu'il n'y a que 50 de l'autre côté?
R : Parce que la valve de surpression est réglée à 50, puis l'autre côté ça ne peut pas sortir.
Q : Mais pourquoi? Comment expliquer qu'il y en ait plus ici que là?
R : Il ne peut pas y avoir plus de pression ici [côté piston, circuit de droite], l'huile sort au réservoir.
Q : D'accord, de ce côté-ci c'est 50, mais pourquoi il y en a davantage ici ? [côté tige] Pourquoi il y a 83,6 ici?
R : PAUSE. Je ne sais pas. (inaudible) PAUSE. Je ne vois pas pourquoi.
Q : Qu'est-ce que tu penses qu'il devrait y avoir normalement ici ?... Tu te serais attendu à quoi?
R : 50... Je ne sais pas.

On note dans les propos de ces élèves une certaine surprise face aux résultats de la simulation : Ils s'attendaient à ce que les pressions de chaque coté du vérin soient identiques... sinon, il devrait y avoir mouvement. À remarquer aussi l'absence de référence au principe d'équilibre des forces pour expliquer l'état de repos du vérin.

ÉLÈVE 23

Q : (...) comment expliquer qu'ici il y ait 50 et qu'ici il y ait 83,6?
R : Euh! Ça doit être encore par rapport aux surfaces.
Q : OK! Et ici alors? Comment expliquer qu'il y ait 50 et 50,2 de l'autre côté? [vérin du circuit de droite].
R : HÉSITATION. PAUSE. C'est le même cylindre?
Q : Exactement pareil. Il y a la même pression d'entrée ici, même pression de ce côté-là, pourtant il y a une pression de ce côté-ci moindre que l'autre. Pourtant les surfaces sont identiques.
R : HÉSITATION. Je ne vois pas pourquoi.
Q : Est-ce que cette charge ici [circuit de droite] peut influencer, selon toi, cette pression ici ?
R : Bien là, ça doit... c'est par la logique...
Q : Mais tu ne vois pas comment se fait ce jeu-là?
R : Non.

À noter aussi, dans ces propos, l'absence de référence au principe de l'équilibre des forces pour expliquer l'état de repos des deux vérins, l'un avec charge, l'autre pas. Cette absence est très généralisée. En fait, aucun élève n'a évoqué explicitement ce principe. Implicitement, ils appliquent l'équilibre des pressions. Ainsi, lorsqu'une force s'exerce sur un vérin, bon nombre d'élèves la considèrent au même titre qu'une pression. Au mieux, ils la transposent, au moyen de calculs simplistes, en termes de pression. Cela semble dû au fait qu'en énergie des fluides, la pression est souvent une donnée disponible et mesurable. Dès lors, il est plus facile de convertir une force en pression que plusieurs pressions en autant de forces.

ÉLÈVE 15

Q : (...) je reviens à ce circuit ici [situation 3], premier circuit. 50 et 83,6. Est-ce logique qu'il y ait des pressions différentes tout simplement? Quelles soient plus hautes ou plus faibles, peu importe, mais quelles soient différentes. Est-ce logique?
R : HÉSITATION. D'après moi oui, c'est logique.
Q : Alors... pourquoi?
R : Bien, là y a rien qui empêche le vérin de comprimer son huile, il va comprimer à son maximum, ce que la pompe peut fournir.
Q : Que la pompe peut fournir quoi?
R : De son huile.
Q : Oui...
R : Mais en réalité, ça ne devrait pas donner...
Q : 83,6 ?
R : L'huile, c'est pas compressible...
Q : Qu'est-ce qui te semblerait logique qu'il y ait ici?
R : HÉSITATION. Je ne sais pas là.
Q : Tu dis, parce qu'en réalité il ne doit pas y avoir 83, parce que l'huile n'est pas compressible, c'est ce que tu m'as dit?
R : Oui.
Q : Qu'est-ce qui serait donc logique ici, selon toi?
R : HÉSITATION. Bien ça devrait pas être 83.
Q : Ça devrait être plus ou moins?
R : Ça devrait être moins, ça c'est sûr.
Q : Et combien moins?
R : HÉSITATION.
Q : Est-ce que ça devrait être...
R : Ça devrait être zéro.
Q : zéro ici?
R : Oui. Ou à peu près zéro.
Q : A peu près zéro, parce que l'huile n'est pas pressée ici.
R : Oui.

Les propos de cet élève sont particulièrement intéressants, quoique déroutants. D'une part, il semble trouver logique qu'il y ait une pression supérieure parce que, constate-t-il, l'huile reste coincée et que la pompe peut exercer pleinement son action (son débit, dit-il). D'autre part, il évoque l'incompressibilité de l'huile, ce qui lui semble entrer en conflit avec ses premiers propos. Finalement, il conclut que la pression devrait être «à peu près zéro, parce que l'huile n'est pas pressée».

Ces propos nous semblent apporter un éclairage important sur bien d'autres discours des élèves. Nous croyons pouvoir en émettre l'interprétation suivante : selon la représentation voulant que les liquides soient hautement compressibles, telle qu'élaborée précédemment, la pression résulte de l'accumulation d'un débit de fluide compressible. Or, l'huile, dit cet élève, n'est pas compressible ; autrement dit, l'huile qui reste emprisonnée dans le vérin n'a pas diminué de volume, donc, elle ne peut pas avoir accumulé une pression. En d'autres mots, l'existence d'une pression implique une compressibilité, une réduction de volume causée par un débit accumulé. Cette contradiction fondamentale est sous-jacente dans plusieurs des propos des élèves, particulièrement lorsqu'ils parlent du rôle de la pompe et de l'effet de la pression sur le débit.

Selon cette interprétation, on peut mieux comprendre l'expression «bâtir une pression» ainsi que la tendance à substantialiser la pression : quand l'élève parle en termes d'envoyer une pression, de la faire passer..., bref, de la manipuler, il s'agirait, en fait, d'un débit de fluide compressé, porteur d'une pression qui cherche à se libérer, comme s'il s'agissait d'un gaz comprimé. En fait, bon nombre des propos des élèves au sujet des phénomènes d'hydraulique seraient plus adéquats s'il s'agissait de phénomènes de pneumatique. En dernière analyse, on pourrait dire qu'en hydraulique, domaine par excellence des lois de l'hydrostatique, les élèves appliquent régulièrement des concepts qui relèvent des lois des gaz, donc, de la pneumatique.

Une autre interprétation possible de cette représentation consisterait à attribuer l'élasticité qui permet d'accumuler un certain débit, non pas à l'huile, mais plutôt à l'élasticité des matériaux des divers composants, notamment des joints d'étanchéité du vérin et des conduits flexibles, ainsi qu'à la très faible compressibilité de l'huile. En quelque sorte, ceci serait conforme à la réalité, quoique dans une mesure bien inférieure à celle qui lui est attribuée. Toutefois, cette interprétation ne permet pas de concilier les propos voulant que, après l'accumulation de débit, rendue possible par cette élasticité, et la montée subséquente de la pression, le débit de la pompe serait encore inversement proportionnel à la pression.

4. ÉNERGIE ET PUISSANCE : CONCEPTS RAREMENT ÉVOQUÉS : L'ÉNERGIE ET SES TRANSFORMATIONS ; PUISSANCE

Considérant que nos travaux portent sur le domaine de l'énergie des fluides, on aurait pu s'attendre à ce que le concept d'énergie soit abondamment évoqué. À cet égard, au cours des entrevues, notamment dans la situation No. 3, nous avons tenté de savoir comment les élèves concevaient le phénomène de la disparition de la pression, par exemple lorsque l'huile traversait un régulateur de débit ou un limiteur de pression. Nous avons cherché à explorer leur compréhension du concept d'énergie et de ses transformations, particulièrement en chaleur, celle-ci étant très omniprésente dans les systèmes d'énergie des fluides.

Paradoxalement, très peu d'élèves ont fait référence à ces concepts. Il en est de même pour le concept de puissance. En fait, ces concepts ne semblent pas faire partie des considérations que les élèves mettent à contribution pour expliquer les phénomènes d'énergie des fluides. À cet égard, les situations du questionnaire écrit s'avèrent plus révélatrices des représentations des élèves que les entrevues. Nous reprenons donc, ici, les hypothèses de représentation de ces concepts, telles que formulées précédemment, tout en les accompagnant de quelques-uns des rares propos recueillis auprès des élèves durant les entrevues, mais aussi de ceux obtenus au moyen du questionnaire écrit.

4.1. ÉNERGIE ET CHALEUR :
SOURCES DE CHALEUR : FROTTEMENTS MÉCANIQUES SEULEMENT

REPRÉSENTATION INFORMELLE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
Il n'y a pas de transformation d'énergie fluide en chaleur. L'augmentation de chaleur dans un système hydraulique s'explique par la seule augmentation des frottements mécaniques. Ainsi, la perte de débit causée par les fuites n'est pas une source de chaleur à considérer.	Il y a transformation de l'énergie fluide en chaleur. Ainsi, la perte de débit causée par les fuites est la principale source de chaleur à considérer. La chaleur imputable aux frottements mécaniques demeure sensiblement constante.

4.2. PUISSANCE, PUISSANCE ET VITESSE, PUISSANCE ET FORCE

REPRÉSENTATION INFORMELLE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
Vitesse est synonyme de puissance. La vitesse suffit pour caractériser la puissance (notion de «force vive»). De même, la puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a mouvement (ou un débit), même sans aucune force.	La puissance est caractérisée par le produit de la vitesse et de la force. Si l'une ou l'autre est nulle, la puissance est nulle.
Force est synonyme de puissance. La force suffit pour caractériser la puissance (notion de «force tranquille»). De même, la puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a une force (ou une pression), même sans aucun mouvement.	La puissance est caractérisée par le produit de la vitesse et de la force. Si l'une ou l'autre est nulle, la puissance est nulle.

Les propos qui suivent illustrent l'absence répétée de référence à ces concepts dans les discours des élèves, et ce, malgré que la situation en question fait nécessairement appel au phénomène de la transformation de l'énergie en chaleur.

ÉLÈVE 13

Q : (...) actuellement il y a 50 ici [situation 3, circuit de gauche, en amont du régulateur de débit], pendant qu'il y a mouvement, et de l'autre côté [en aval], il y a 0. Que devient la pression? Comment ça se fait qu'ici il y a 0 et ici il y a 20? Qu'est-ce qu'elle devient cette pression qui soudainement n'est plus là?

R : Il n'y a pas de force d'exigée, ça fait que le fluide va... il n'y a aucune restriction, il s'en va là, lui [au réservoir], c'est tout.

Q : Et qu'est-ce qui se produit avec la pression?

R : La pression d'où ? Elle?
Q : Du 50 qu'il y a ici
R : Elle va toujours rester égale, elle, c'est à cause du limiteur.

ÉLÈVE 7

Q : (...) Comment expliquer qu'il y ait 50 ici et 0 là?
R : Euh! A cause que celui du milieu là [le régulateur de débit], on dirait que ça enlève toute la pression (...).
Q : Comment fait-il pour l'enlever cette pression là?
R : Parce que c'est comment que c'est fait. Il y a beaucoup de fissures, c'est un étranglement, c'est-à-dire qu'il a une surface qui arrête la pression là, il en laisse passer juste un petit trou là, un petit orifice, il en passe...

ÉLÈVE 20

Q : (...) comment expliquer qu'ici il n'y a que 50,2 [circuit de droite] et que de l'autre côté, il y a 83,6?
R : HÉSITATION. Probablement que la charge crée... elle prend de la pression, de la force pour le cylindre, il en reste moins dans l'huile. Je veux dire, la pression vient pousser un petit peu la charge puis ça prend de l'énergie, donc à la sortie il va y avoir moins de pression pour l'huile.
Q : Tu me dis, ça prend de l'énergie, qu'est-ce que c'est que l'énergie?
R : L'énergie c'est des PSI [acronyme de «pounds per square inch»], c'est la force que l'huile a pour déplacer la charge.
Q : Répète-moi ça... Tu me dis, l'énergie c'est les PSI, des PSI... Répète-moi ça?
R : Les PSI c'est la force du système qui fait déplacer la charge, c'est la pression que ça prend pour faire déplacer la charge.
Q : Et ça, pour toi, c'est l'énergie?
R : L'énergie... non, l'énergie ça serait l'huile, la quantité d'huile qui vient pousser, non ce n'est pas l'énergie ça. Euh! l'énergie, l'énergie c'est la force que le système produit pour déplacer une charge.

ÉLÈVE 9

Q : (...) Si on fait avancer le vérin [situation 3, circuit de gauche, en amont et en aval du régulateur de débit], peux-tu m'expliquer pourquoi il y a 50 ici, 50 ici et 0 de l'autre côté?
R : A cause du limiteur de débit; la pompe fournit un débit de 6 et le limiteur est réglé à 5; automatique il y avait une résistance, puis la valve de sécurité est réglée à 50, c'est pour ça que tous les manomètres qui sont avant le limiteur de débit vont indiquer la pression du limiteur de pression pour le réservoir, où que c'était marqué 50; ce qui est après le limiteur de débit, il n'y a pas de résistance, rien; un écoulement libre, pression zéro.
Q : Qu'est-ce qu'elle devient la pression ici avant le limiteur de débit, qu'est-ce qu'elle devient après... elle tombe à zéro, comment ça se fait qu'elle tombe à zéro?
R : Au limiteur de débit, il y a... il passe juste à la limite 5, en réalité la pompe en fournit 6, c'est-à-dire, qu'il y a un surplus de liquide, de fluide, qui arrive, il y a une résistance, ça crée une pression, c'est pour ça qu'il y a une pression de 50, mais après il y a un écoulement libre et quand il y a un écoulement libre, il n'y a aucune pression.
Q : (...) Mais alors est-ce que ça veut dire que ce limiteur de débit à cet endroit ici, il transforme la pression parce qu'elle passe de 50 à zéro, qu'est-ce qu'il fait le limiteur de débit avec la pression?
R : Le fait qu'il crée une résistance au fluide dans l'espace de 5 au lieu de 6, le surplus va créer une pression parce que toute résistance va créer une pression, tandis que quand il y a un écoulement, il y en a aucune.

Voici quelques raisons évoquées par les élèves en réponse à la question no. 4 du questionnaire écrit, portant sur les causes du réchauffement d'une pompe qui présente des fuites internes importantes.

- La pompe doit tourner plus longtemps pou faire le même travail, et elle se fatigue.
- La pompe manque d'huile (de lubrification) et se réchauffe plus rapidement.
- La pompe doit tourner plus vite pour maintenir la pression.
- L'huile reste stagnante plus longtemps et il y a une mauvaise dissipation de la chaleur.
- Il y a présence de morceaux de métal dans l'huile qui augmentent les frottements.
- La pression élevée fait augmenter le coefficient de frottement.
- La «fabrication» de la pression engendre de la chaleur.
- Il y a plus de frottements et de l'air.

Voici quelques réponses concernant la question no. 7 à propos de la puissance de deux vérins, l'un de petit diamètre (faible mais rapide) et l'autre de grand diamètre (fort mais lent). À noter que les deux vérins sont alimentés, alternativement, par la même pompe, au moyen d'un distributeur.

- Le vérin de grand diamètre est plus fort, donc plus puissant.
- Le vérin de petit diamètre est plus rapide, donc plus puissant.
- Plus le vérin est petit, plus la pression est grande et plus la force augmente.

5. VITESSE D'UN CORPS EN CHUTE LIBRE

REPRÉSENTATION INFORMELLE	REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE
La vitesse d'un corps en chute libre dépend de son poids; plus il est lourd, plus il descend vite.	La vitesse d'un corps en chute libre est indépendante de son poids.

Nous ne sommes pas en mesure d'affirmer avec certitude l'existence de cette représentation. Nous pouvons dire qu'elle semble refléter la pensée de plusieurs élèves, mais le contexte dans lequel les propos ont été produits comportait certains biais susceptibles de les influencer. En effet, les propos font référence à la situation No. 1 et à la chute de la charge, laquelle provoque le vide dans le vérin. Il s'agit d'une chute incontrôlée, sous l'effet de la force gravitationnelle. Cependant, la force due à la pression atmosphérique agit sur la surface du piston dans le sens opposé du poids. De plus, la chute de la charge implique un écoulement d'huile du vérin vers le réservoir. En d'autres termes, la situation n'est pas à l'abri de considérations complexes. Nous estimons peu probable que les propos des élèves reflètent cette complexité. En fait, nous pensons que cette représentation serait de nature semblable à celle voulant que, malgré un débit constant, la vitesse d'un vérin diminue lorsque la charge augmente.

ÉLÈVE 22

Q : (...) si cette charge était deux fois plus grande?
R : Ça serait le même vide.
Q : Ça serait le même vide?
R : Il descendrait plus vite peut-être, mais...
Q : Si la charge est plus forte, ça descend plus vite?
R : Oui.

ÉLÈVE 16

Q : (...) Si je double cette charge, si j'en mettais une de 6000 N, par exemple. Qu'est-ce qui changerait dans tout ce que tu vois? Qu'est-ce qui serait différent?
R : HÉSITATION.
Q : Est-ce que tu peux imaginer ça?
R : Bien, peut-être que la masse tomberait encore plus vite.

ÉLÈVE 5

Q : Si je mettais 4 fois la charge?
R : (...) Bon, si la charge est plus importante, elle veut descendre plus vite (...)
Q : (...) Je vais voir si j'ai bien compris. Si la charge était plus importante, premièrement tu me dis, ça va descendre plus vite, j'ai bien compris?
R : Oui, oui, c'est un fait.

ÉLÈVE 6

Q : Si on double la charge (...), on va la faire descendre. Regarde bien: qu'est-ce qui se passe?
R : Elle descend plus vite que... [en fait, le logiciel simule toujours la même vitesse].

ÉLÈVE 3

Q : (...) Imaginons un moment, si j'augmentais cette charge ici, qu'est-ce qui changerait dans tout ce que tu vois?
R : Ça descendrait plus vite.

ÉLÈVE 2

Q : (...) Voyons voir. Si je mettais une charge plus forte ici. Qu'est-ce qui changerait?
R : Pendant la descente?
Q : OUI.
R : Euh! Il descendra plus vite (...).

VII. SYNTHÈSE GÉNÉRALE DES REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES

Nous présentons, ci-après, la synthèse des représentations des élèves. Dans les colonnes de gauche des tableaux suivants, on trouve les représentations formulées à la suite de l'analyse des résultats du questionnaire écrit (nous avons conservé la même numérotation) ; dans les colonnes de droite, on trouve l'énoncé de la représentation-synthèse sous-jacente, c'est-à-dire la représentation qui sous-tend chacune des représentations de gauche. Celles-ci constituent, en fait, des manifestations diverses et contextualisées de la représentation plus générale de droite. Bien entendu, la correspondance n'est pas toujours nécessairement parfaite ou complète. Cependant, elle reflète la manière de raisonner des élèves. On notera aussi que certaines formulations de représentations issues du questionnaire écrit demeurent inchangées. Cela indique, tout simplement, que ces premières formulations conviennent aussi aux propos recueillis au cours des entrevues. Finalement, nous avons ajouté la représentation concernant la vitesse d'un corps en chute libre que nous avons identifiée seulement lors des entrevues.

Nous incluons aussi quelques remarques qui se dégagent de l'analyse de ces tableaux, particulièrement en ce qui concerne les incidences potentielles des fausses représentations sur les apprentissages des élèves.

1- COMPRESSIBILITÉ ET INCOMPRESSIBILITÉ :

MANIFESTATIONS DIVERSES D'UNE MÊME REPRÉSENTATION	REPRÉSENTATION-SYNTHÈSE SOUS-JACENTE
1- L'air et l'huile sont compressibles; à cet égard, les deux se comportent de manière semblable. 2- L'air et l'huile sont incompressibles; à cet égard, les deux se comportent de manière semblable. 3- L'air est très compressible ; sous une pression de quelques bars, il disparaît. 7- La pression, dans un liquide, se bâtit graduellement (implique un fluide compressible) ; elle est produite par la pompe et on peut la faire circuler, la manipuler, la diriger vers un vérin ou la détourner vers le réservoir. 10- Le débit d'un liquide n'est pas constant dans tous les points d'un conduit. Il varie en fonction des différentes sections. Conséquemment, la somme des débits qui entrent et qui sortent dans un noeud (un embranchement) peut ne pas être nulle. Ainsi, dans un noeud à la sortie de la pompe, la somme des débits sortants peut être différente du débit de celle-ci. 11- Le débit de liquide qui entre dans un vérin est égal à celui qui sort, nonobstant les surfaces inégales de chaque coté du piston. 12- Le régulateur de débit détermine le débit qui passe par un conduit, plutôt que le débit maximal possible. 13- Le débit d'une pompe volumétrique varie de manière inversement proportionnelle à la pression. Conséquemment, la vitesse d'un vérin diminue lorsque la charge augmente. 14- La pression est directement proportionnelle au débit. Conséquemment, la force d'un vérin augmente lorsque le débit augmente. Ainsi, un faible débit peut expliquer le fait qu'un vérin n'avance pas. 15- La pression dans un conduit est identique partout, nonobstant les différentes sections, le régime d'écoulement ou même la présence d'un régulateur de débit.	LES LIQUIDES SONT HAUTEMENT COMPRESSIBLES, COMME LES GAZ. La pression se bâtit progressivement, avec le temps, à mesure que le débit s'accumule (se comprime). Cette accumulation explique que, dans un conduit, le débit varie en fonction de la section. En d'autres mots, le débit d'une pompe varie de manière inversement proportionnelle à la pression. Il en découle qu'un vérin sans charge avancera plus rapidement qu'un autre vérin identique, avec charge : les pressions étant différentes, les débits le seront aussi.

On remarquera l'importance centrale qui se dégage de cette fausse représentation du concept de compressibilité et d'incompressibilité, particulièrement en raison de son incidence sur un vaste ensemble de concepts importants. En effet, une bonne appropriation des concepts de pression et de débit en découle directement, ainsi qu'une bonne compréhension du rôle de la pompe volumétrique, en tant que source de débit constant, et de celui du régulateur de débit. On peut y voir aussi, entre autres, des répercussions sur le concept de la continuité du débit d'un liquide dans un conduit et de celle de l'énergie. Nous en concluons que cette fausse représentation a une incidence potentielle majeure sur un grand nombre de difficultés d'apprentissage, notamment en ce qui concerne la démarche d'analyse des interactions qui se produisent entre les divers composants d'un système d'énergie des fluides.

2. LE VIDE

MANIFESTATIONS DIVERSES D'UNE MÊME REPRÉSENTATION	REPRÉSENTATION-SYNTHÈSE SOUS-JACENTE
4- Le vide est impossible; c'est comme une pression négative dont la valeur n'a pas de limite ; en conséquence, si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort et il ne bougera pas, pourvu que les parois résistent. 5- Le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse ; plus on l'étire, plus il résiste. 6- Seul le port de sortie (dans le sens du mouvement de la charge) sert à déterminer le comportement d'un vérin. Conséquemment, le vide, dans le port d'entrée, n'est pas à considérer.	LE VIDE EST IMPOSSIBLE CAR LES LIQUIDES NE SONT NI COMPRESSIBLES NI EXPANSIBLES. Le vide est impossible; si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort, et le vérin ne bougera pas, pourvu que les parois résistent à l'implosion. En fait, faire le vide consiste à décompresser, à étirer l'air qu'il y a, soit dans le récipient, soit dans le liquide, sous forme de particules. C'est une pression négative dont la valeur n'a pas de limite ni de lien avec la pression atmosphérique. Ainsi, le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse : plus on l'étire, plus il résiste.

Les implications de cette fausse représentation sont importantes. En effet, comme nous le disions au chapitre I, le concept du vide intervient dans la compréhension du principe de fonctionnement et du rôle de la pompe, du moteur et du vérin. Particulièrement pour ce qui est du vérin, on a souvent tendance à négliger

le vide sous prétexte que la seule différence de 1 bar (la pression atmosphérique) n'est guère significative, nous en convenons, dans la balance des grandes pressions qui sont généralement en cause dans les systèmes hydrauliques. Or, cette représentation implique qu'aucune charge ne peut provoquer le vide dans un vérin. En d'autres mots, il n'y aura pas de danger de chute incontrôlée d'une charge puisque le vide est tout simplement impossible. Bien entendu, on peut argumenter que, dans un système bien conçu, de telles situations ne devraient pas se produire. Or, ce dont il s'agit ici, c'est de réaliser que le concept du vide est essentiel à l'appropriation des modèles explicatifs de ces composants. Il restera à déterminer la place qu'il convient de lui faire dans les activités d'apprentissage.

3- FORCE ET PRESSION

MANIFESTATIONS DIVERSES D'UNE MÊME REPRÉSENTATION	REPRÉSENTATION-SYNTHÈSE SOUS-JACENTE
8- Force est synonyme de pression. Conséquemment, dans un vérin, les pressions s'équilibrent (et non les forces), malgré les surfaces inégales de chaque coté du piston. 9- La réduction de la section d'un conduit fait augmenter la pression et, donc, la force d'un vérin situé en aval ; plus la section du conduit est petite, plus la pression disponible est grande. En d'autres termes, pour augmenter le force d'un vérin, il suffit de restreindre la section du conduit qui l'alimente.	ÉQUILIBRE DES FORCES ET ÉQUILIBRE DES PRESSIONS Les concepts de force et de pression sont équivalents. Ainsi, par exemple, dans le cas d'un vérin, la pression détermine sa force et réciproquement. Il en découle que, dans un vérin, les pressions s'équilibrent (et non les forces), malgré les surfaces inégales du piston.

Il paraît inutile d'insister longuement quant à l'importance de cette fausse représentation, d'autant que son existence est bien connue des didacticiens qui explorent les difficultés conceptuelles reliées aux concepts de base de la physique. Dans une certaine mesure, ce qui peut surprendre ici, c'est sa persistance, compte tenu du niveau scolaire des élèves et du fait que le concept de pression est omniprésent tout au long de la formation en énergie des fluides. Nous devons l'interpréter comme une manifestation de la prégnance des fausses représentations et, dès lors, constater la nécessité d'articuler des situations d'apprentissage qui en tiendront compte de manière spécifique. Comme nous le verrons plus loin, cette représentation du concept de force et de pression s'articule avec d'autres fausses représentations impliquant le concept de puissance.

4- ÉNERGIE ET PUISSANCE

MANIFESTATIONS DIVERSES D'UNE MÊME REPRÉSENTATION	REPRÉSENTATION-SYNTHÈSE SOUS-JACENTE
4.1. ÉNERGIE ET CHALEUR	
16- Il n'y a pas de transformation d'énergie fluide en chaleur. L'augmentation de chaleur dans un système hydraulique s'explique par la seule augmentation des frottements mécaniques. Ainsi, la perte de débit causée par les fuites n'est pas une source de chaleur à considérer. 17- Une pompe usée doit travailler plus fort pour maintenir ses performances; elle se fatigue plus vite. Alors, la chaleur augmente, comme lorsqu'on surcharge un moteur électrique ou un moteur à combustion interne.	SOURCES DE CHALEUR : FROTTEMENTS MÉCANIQUES SEULEMENT. Il n'y a pas de transformation d'énergie fluide en chaleur. L'augmentation de chaleur dans un système hydraulique s'explique par la seule augmentation des frottements mécaniques. Ainsi, la perte de débit causée par les fuites n'est pas une source de chaleur à considérer.
4.2. PUISSANCE, PUISSANCE ET VITESSE, PUISSANCE ET FORCE.	
18- Vitesse est synonyme de puissance. La vitesse suffit pour caractériser la puissance (notion de «force vive»). De même, la puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a mouvement (ou un débit), même sans aucune force.	
19- Force est synonyme de puissance. La force suffit pour caractériser la puissance (notion de «force tranquille»). De même, la puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a une force (ou une pression), même sans aucun mouvement.	

La représentation voulant que seuls les frottements mécaniques soient à l'origine de la production de chaleur, et de son corollaire à l'effet qu'il n'y ait pas de transformation d'énergie fluide en chaleur, semble surtout relever des enseignements dispensés (ou plutôt de ceux qui ne le sont pas), lesquels n'accorderaient pas toute l'importance qu'il convient à cette question. Pour ce qui est des représentations des concepts de force et de vitesse, voulant qu'ils soient synonymes de celui de puissance, ils semblent de nature semblable à celui voulant que la force et la pression soient aussi synonymes.

5. VITESSE D'UN CORPS EN CHUTE LIBRE

> La vitesse d'un corps en chute libre dépend de son poids; plus il est lourd, plus il descend vite.

Comme nous le disions lors de la première formulation de cette représentation, nous ne pouvons pas affirmer avec certitude son existence chez nos élèves. Toutefois, malgré les réserves exprimées, compte tenu que ce concept relève de l'enseignement de la mécanique newtonienne de base, tout comme ceux de force et de vitesse au sujet desquels nous venons d'observer la forte prégnance des représentations erronées, nous estimons très probable que cette fausse représentation soit présente.

Nous concluons ce chapitre en soulignant à quel point les élèves sont aux prises avec des difficultés conceptuelles majeures. Elles sont tout aussi diverses que profondes. Bien entendu, la nature de ces difficultés n'est pas exclusive à notre système d'enseignement. Il n'en demeure pas moins important d'y consacrer tous les efforts nécessaires. Nous aborderons cette question au chapitre suivant.

CHAPITRE III

UNE APPROCHE CONSTRUCTIVISTE DE REDRESSEMENT

Nous présentons, dans ce chapitre, les grandes orientations qui nous paraissent essentielles à considérer dans toute approche pédagogique visant à surmonter les difficultés conceptuelles des élèves et à redresser les représentations erronées qu'ils entretiennent, et qui persistent même après qu'ils ont complété une formation dans le domaine, comme nous l'avons illustré au chapitre précédent.

Ces grandes orientations s'inspirent de la conception constructiviste et interactionniste de l'apprentissage, dont Piaget est le grand initiateur. Nos travaux, ainsi que ce rapport de recherche, sous-tendent ce paradigme fondamental. Nous allons exposer les principaux éléments qui devraient permettre d'opérationnaliser cette approche, en tenant compte du contexte techno-scientifique de l'énergie des fluides. Nous aborderons quelques considérations théoriques et pratiques, puis nous exposerons notre conception d'une approche pédagogique susceptible d'améliorer l'apprentissage de cette discipline.

I. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Comme nous venons de le préciser, nous adhérons au courant constructiviste et interactionniste de Piaget (1964), Ausubel (1968), Laszlo (1969) et Posnet et al. (1982). Selon cette perspective, les apprentissages se construisent à partir des interactions qui se créent entre le sujet connaissant et l'objet de connaissance. De la richesse de ces interactions découle celle des apprentissages qui seront réalisés. Cependant, ces auteurs ne partagent pas le même fondement épistémologique concernant le mécanisme d'interaction.

Selon Piaget, au cours des interactions, il se crée des situations de déséquilibre cognitif chez le sujet. Celui-ci, se trouvant alors en état de questionnement, réagit en vue du rétablissement de l'état d'équilibre. Ainsi :

> «*A chaque instant, pourrait-on dire ainsi, l'action est déséquilibrée par les transformations qui surgissent dans le monde, extérieur ou intérieur, et chaque conduite nouvelle consiste non seulement à rétablir l'équilibre, mais encore à tendre vers un équilibre plus stable que celui de l'état antérieur à cette perturbation*».

Selon Piaget, le rétablissement de l'équilibre implique, soit le processus d'assimilation, soit celui de l'accommodation. Le premier désigne l'intégration de nouvelles données dans un schème existant. Le deuxième désigne une réorganisation ou l'abandon du schème existant, en faveur d'un nouveau. Ainsi, pour Piaget,

«Tout besoin tend : 1) à incorporer les choses et les personnes à l'activité propre au sujet, donc à «assimiler» le monde extérieur aux structures déjà construites, et 2) à réajuster celles-ci en fonction des transformations subies, donc à les «accommoder» aux objets externes» (p.14).

Dans un courant de pensée complémentaire se situent Posner et al. Ces auteurs considèrent l'apprentissage comme un changement conceptuel qui ne relève pas seulement des structures cognitives au sens de Piaget, mais aussi des structures conceptuelles (Métioui 1990). Pour ces auteurs, il y a assimilation lorsque tout nouvel apprentissage s'intègre de façon harmonieuse dans la structure conceptuelle déjà existante chez l'apprenant. Dans le cas contraire, il doit se produire, soit un réaménagement des postulats épistémologiques et, subséquemment, une réorganisation de la structure conceptuelle, soit un abandon de ces postulats. Il est à noter que, lorsque les nouvelles conceptions s'inscrivent en rupture épistémologique par rapport aux précédentes, l'apprenant doit procéder à un changement de paradigme, au sens de Kuhn (1970). C'est la situation de conflit conceptuel, au cours de laquelle l'apprenant réalise que ses représentations ne peuvent pas s'accommoder des nouvelles notions qui lui sont proposées. Durant cette phase il devient perméable à un changement de sa structure conceptuelle qui lui permettra de concilier la nouvelle situation avec ses expériences passées.

A. LE CONFLIT CONCEPTUEL

Mais dans quelles circonstances l'apprenant opère-t-il un réaménagement de sa structure conceptuelle ? Selon ces auteurs, il faut:

1- que l'apprenant prenne conscience de l'incapacité de ses représentations à expliquer la situation observée ;

2- qu'il puisse entrevoir une nouvelle façon de concevoir la situation ;

3- que cette nouvelle façon lui paraisse plausible et accessible ;

4- que cette nouvelle représentation lui laisse entrevoir des répercussions sur d'autres situations qu'il a déjà expérimentées, sans toutefois se les expliquer de manière satisfaisante, et qui l'inciteront à vérifier de nouvelles hypothèses.

Sur un plan plus opérationnel, Giordan et de Vecchi (1987 b) explicitent les conditions à observer lorsqu'on veut faire apprendre «avec» et «contre» les représentations des élèves:

Premièrement, *«c'est l'apprenant qui «construit» son savoir. C'est donc lui [...] qui doit se trouver en situation de changer de représentation. [...] le formateur ne peut ni fournir les conceptions adéquates, ni agir sur les représentations [...] s'il n'amène pas l'élève à prendre conscience, par lui-même, de la nécessité d'opérer ces révisions.»*

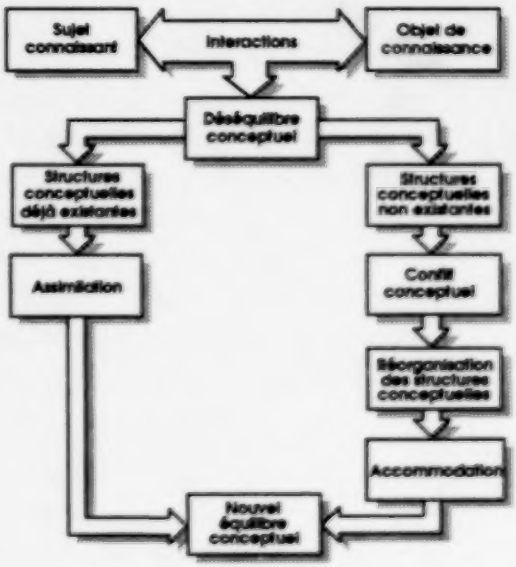
Deuxièmement, *«c'est par une série de corrections, de rectifications successives, que l'apprenant peut accéder à un certain niveau de formulation plus adéquat (ou plus proche du savoir scientifique)»*.

Troisièmement, *«les conceptions de l'apprenant ne correspondent pas uniquement à des images de la réalité; elles lui servent de point d'ancrage pour s'approprier d'autres savoirs, car elles constituent les «structures d'accueil» qui permettent de fédérer de nouvelles informations»*.

Finalement, *«la nouvelle connaissance doit être «intégrée» aux structures préexistantes dont dispose l'apprenant»*. Ici, les auteurs rejoignent la pensée de Posner et al. lorsqu'ils affirment: *«Il nous semble nécessaire de parler de véritable «mutation». Un élément nouveau ne s'inscrit pas dans la ligne de connaissances antérieures; celles-ci représentent le plus souvent un obstacle à son intégration et il faut donc une transformation intellectuelle pour combler ce décalage»*. (pp. 133-134).

Le diagramme ci-contre illustre, de manière globale selon nous, le modèle constructiviste du phénomène de l'apprentissage avec les mécanismes d'assimilation et d'accommodation qui résultent du conflit conceptuel selon Posner et al. Ce modèle a fait l'objet de nombreux travaux dans le domaine des sciences. Ainsi, Hewson et Hewson (1983) ont travaillé au développement de stratégies reliées aux concepts de masse et de densité. Plus récemment, Lafontaine et al. (1990) ont traité des concepts d'hydrodynamique, tandis que Dupin et Johsua (1989) l'ont fait sur des concepts d'électrocinétique.

Le phénomène de l'apprentissage
(Modèle constructiviste)



B. L'APPROCHE SYSTÈME

Une réflexion critique sur les pratiques en vigueur dans l'enseignement de l'énergie des fluides nous amène à adopter une approche basée sur l'étude des fonctions et des interactions qui se produisent dans un système technologique, plutôt que l'approche classique basée sur l'étude détaillée des composants. Cette orientation relève de l'approche système, que nous définissons avec Walliser (1977) comme étant une approche de modélisation;

«Le concept de système est, en fait, inséparable du concept de modèle, conçu comme système représentatif d'un système concret. Tout système réel n'est connu, en effet, qu'à travers des modèles

représentatifs (représentations mentales individuelles ou représentations explicitées formellement). Inversement, tout modèle peut être considéré comme un système spécifique, qu'il soit de nature concrète (maquette) ou abstraite (ensemble de signes).» (p.11)

L'approche système convient parfaitement à notre problématique des représentations, en ce sens que l'apprenant est appelé à développer et à expérimenter ses représentations avec le support des modèles explicatifs de la fonctionnalité des composants (*«une représentation c'est un modèle explicatif»* écrivent aussi Giordan et de Vecchi). L'approche système est perçue comme un élément intégrateur face au phénomène de la complexification des systèmes technologiques, en ce sens qu'elle favorise le développement d'une structure conceptuelle trans-disciplinaire orientée et structurée en fonction des tâches de travail. Une caractéristique importante que nous retenons de l'approche système veut que tout concept soit d'abord maîtrisé au plan qualitatif, avant que l'aspect quantitatif ne soit considéré. Ainsi, *«an engineer does not perform a quantitative analysis unless he first understands the circuit* [ou le système] *at a qualitative level»* (de Kleer, 1984). Cet aspect est étroitement relié à notre problématique des représentations et nous avons constaté sa grande importance, particulièrement lors des entrevues cliniques avec les élèves. Voici en quels termes White et Fredericksen (1990) perçoivent cette question:

«[...] students should initially be exposed to qualitative causal reasoning in order (1) to make connections with their naive intuitive models of physical phenomena, and (2) to enable them to acquire this important problem-solving skill that evidence has shown they lack. Quantitative reasoning should only be introduced after students have been given a qualitative, causal conception of the domain, and the form of quantitative reasoning then taught should be a logical extension of the qualitative reasoning they have acquired. Further, the form of qualitative, causal reasoning should build upon students' naive but accurate intuitions and thus help to override their inaccurate intuitions.» (p. 102).

De son coté, Lévy-Leblond (1980) s'exprime de manière semblable à cet égard :

«[...] Avant toute analyse théorique d'un problème physique (mise en équations, résolution formelle, calculs numériques), une étude qualitative préalable en est absolument nécessaire. Évaluation empirique des paramètres d'importance dans le problème, utilisation fonctionnelle des lois physiques ou de la simple analyse dimensionnelle pour étudier la dépendance mutuelle des quantités physiques considérées, estimation des ordres de grandeur correspondants, telles sont les formes principales de cette démarche préliminaire. [...] Il s'agit ici d'essayer d'obliger l'étudiant (et l'enseignant !) à penser, en lui supprimant le recours automatique aux «équations». Ce n'est pas dire, certes, que les lois physiques traduites par ces équations soient inutiles pour répondre à ces questions, bien au contraire, dans la mesure où beaucoup de réponses vont à l'encontre du «sens commun» ordinaire, ou lui sont étrangères. Mais les lois à utiliser traduisent des relations entre concepts suffisamment simples (dépendance

proportionnelle, inverse, indépendance, etc.) pour pouvoir, et devoir, être mises en oeuvre sans qu'il soit besoin de «résoudre des équations» même s'il est parfois (mais rarement) utile de les écrire.» (pp 7 - 8).

C. LES MODÈLES EXPLICATIFS

C'est avec cette perspective de système que, dans notre démarche visant à établir la structure conceptuelle de la discipline, nous avons adopté l'approche de modélisation. Ainsi, dans un premier temps, nous avons défini et décrit les fonctions d'un système hydraulique ; ensuite nous avons identifié les composants qui sont mis à contribution pour réaliser ces fonctions, défini leurs rôles spécifiques et, finalement, élaboré leur modèle explicatif. Comme nous le précisions au chapitre I, ces derniers aspects ont nécessité un développement pratiquement intégral de notre part car, contrairement à la situation qui prévaut pour d'autres disciplines (électricité et électronique, par exemple) dans les ouvrages d'enseignement ou spécialisés on ne retrouve pas de définition précise et univoque du rôle des composants hydrauliques ni de modèle explicatif global de leur fonctionnalité. Ces modèles explicatifs nous ont permis de faire ressortir les divers concepts de la discipline et de rendre intelligible sa structure. Ils ont constitué les fondements de notre analyse conceptuelle.

II. LES CONDITIONS DE SA MISE EN OEUVRE

Des considérations théoriques précédentes il ressort, essentiellement, que:

1- C'est l'apprenant qui doit faire ses expérimentations et ses recherches, puis en tirer ses conséquences et ses découvertes. Ceci ne veut pas dire qu'il est laissé à lui-même, sans support théorique, bien au contraire, mais plutôt que c'est en réponse à ses questionnements que doivent s'inscrire les activités d'apprentissage.

2- L'apprenant qui est aux prises avec des représentations erronées doit se trouver face à des situations expérimentales qu'il ne parvient pas à résoudre. Dès lors, la situation de conflit conceptuel doit l'amener à expérimenter toutes les hypothèses susceptibles de préserver, dans son esprit, la validité de ses conceptions. Ce n'est qu'à la fin de cette démarche qu'il deviendra perméable à de nouvelles manières d'entrevoir la situation.

3- Ces nouvelles manières devront faire leurs preuves avant de devenir des «candidates» sérieuses et crédibles au remplacement des anciennes. Là encore, de nouvelles expérimentations devront avoir lieu afin que l'apprenant développe une certaine maîtrise et une aisance dans la nouvelle façon de voir et de faire.

4- Dans ses expérimentations, l'élève doit pouvoir découvrir, questionner, tenter de mettre en échec et valider les modèles explicatifs et les représentations qui les sous-tendent.

A. L'EXPÉRIMENTATION

L'expérimentation est donc au coeur des conditions essentielles de l'approche pédagogique que nous envisageons. En fait, il s'agit de guider l'élève à travers les diverses étapes de la démarche scientifique classique (OHERIC) telle que décrite ci-après : À partir d'un objet d'étude (un système hydraulique, une de ses fonctions technologiques ou un composant qui sert à la concrétiser), l'apprenant devrait être amené à interagir avec des situations expérimentales dont il devra anticiper le comportement et Observer les résultats lors de la simulation. Ces résultats, surtout lorsqu'ils ne seront pas conformes à ses attentes, devraient l'amener à se poser des questions, à envisager des explications et à explorer des Hypothèses de fonctionnement, lesquelles feront appel à de nouvelles situations expérimentales exploratoires que l'élève pourra créer ou modifier. Ces situations donneront lieu à des boucles d'Expérimentation-Résultats-Interprétation, comportant des essais et des erreurs. C'est pendant ces boucles que les éventuelles représentations erronées de l'apprenant seront mises à contribution, testées et, ultimement, mises en défaut. Tout au long de cette démarche, essentiellement inductive, l'apprenant doit disposer aussi des apports complémentaires de la démarche déductive; il doit pouvoir faire appel, notamment, aux contenus théoriques et aux modèles explicatifs formels. Au terme de son cheminement, il devrait être en mesure de tirer sa propre Conclusion, laquelle, pour autant qu'elle soit exacte, ne saurait qu'être conforme au modèle explicatif.

Cependant, il est clair que l'objectif de cette approche de modélisation n'est pas l'apprentissage de la démarche scientifique dans le but d'élaborer des théories nouvelles, mais plutôt l'apprentissage des modèles explicatifs. Aussi, la démarche doit être euristique, en ce sens qu'elle doit favoriser l'apprentissage par la découverte, ce qui implique la multiplication des expérimentations et, en corollaire, qu'elle doit permettre l'essai et l'erreur.

B. LES CONTRAINTES RELIÉES À L'EXPÉRIMENTATION

Ces considérations soulèvent la question de la faisabilité, car les situations expérimentales que l'on peut créer avec un laboratoire conventionnel demandent beaucoup de temps et sont nécessairement assez limitées quant au nombre et à leur diversité ; les montages sont laborieux et la diversité des composants est tout aussi limitée. Par ailleurs, certaines situations critiques ne peuvent pas être expérimentées en raison des dangers qu'elles comportent : pensons, par exemple, aux conséquences que pourrait avoir l'utilisation de pressions extrêmes, ou la perte de contrôle du mouvement d'un vérin qui serait entraîné par une charge menante.

Un autre aspect particulièrement important, surtout pendant la phase d'appropriation des concepts fondamentaux, concerne le fait que certaines expérimentations devraient s'effectuer, en première

approche, dans des conditions «idéales», avant de passer aux conditions «réelles». Ceci est impossible à réaliser avec un système physique. Nous faisons référence ici à des conditions telles que l'absence de frottements (mécaniques ou visqueux), les fluides sans masse, les rendements parfaits (énergétiques, volumétriques ou mécaniques) et, de manière générale, à tout ce qui peut altérer la régularité d'un phénomène. En fait, bon nombre de concepts théoriques tels le principe de Pascal, les lois des gaz ou les transformations de l'énergie, ne sont exacts, pour ainsi dire, qu'à l'état pur, c'est-à-dire dans les conditions idéales évoquées. Dès lors, les résultats obtenus lors d'expérimentations faites avec des appareils réels comportent une série de nuances, d'exceptions et de considérations complémentaires qui se trouvent, en quelque sorte, à entamer la crédibilité, voire à invalider ces résultats, lorsqu'on les confronte à ceux anticipés par la théorie. Bien entendu, les conditions «idéales» sont, aussi, «irréelles» et ces nuances s'imposent. Cependant, elles devraient intervenir à posteriori, après l'assimilation ou l'accommodation des concepts, sans quoi elles constituent des refuges conceptuels où peuvent s'abriter et subsister les représentations erronées des élèves.

Aussi, du point de vue conceptuel, une difficulté très importante vient du fait que plusieurs phénomènes qui se produisent à l'intérieur des composants ne sont pas visibles en raison de la construction (métallique, opaque) de ceux-ci. Nous faisons référence aux phénomènes tels la cavitation d'une pompe, les formes d'écoulement du fluide ou la formation du vide dans un vérin (malgré qu'il existe quelques modèles transparents qui permettent de pallier partiellement ces difficultés). De plus, les phénomènes transitoires, tels les accélérations aux fins de course d'un vérin et les surpressions qu'elles génèrent, ou l'action du compensateur de pression d'un régulateur de débit, ne sont pratiquement pas observables. Ces phénomènes sont de très courte durée et ils obéissent aux interactions qui se produisent entre les variables à l'intérieur du système. Cependant, leur compréhension est essentielle pour assurer une bonne appropriation des modèles explicatifs.

Une autre limitation importante vient du fait que les expérimentations conventionnelles impliquent essentiellement le système lui-même, mais rarement la machine ou le mécanisme sur lequel ils agissent. En d'autres mots, on n'expérimente qu'une partie du système global. Cela est dû au fait que les systèmes d'énergie des fluides servent à actionner une multitude d'équipements et que ceux-ci sont, généralement, lourds, encombrants et dispendieux. Leur utilisation en situation d'apprentissage devient tout simplement impraticable. Il en découle que les expérimentations ne permettent pas d'utiliser des charges significatives et d'observer les phénomènes qu'elles occasionnent. En ce sens, elles ne constituent qu'un reflet partiel de la réalité fonctionnelle du système.

Mentionnons aussi le problème relié à l'impossibilité, à toutes fins pratiques, de faire varier à volonté les paramètres d'une configuration expérimentale donnée, tels les surfaces et la course d'un vérin, les charges appliquées, ou encore, le volume d'un accumulateur et la pression de son gaz. Il en résulte qu'il est difficile d'analyser le comportement d'une situation expérimentale de départ, sous d'autres

conditions, sous d'autres variantes, qui permettraient à l'apprenant d'explorer plus avant toutes les hypothèses de fonctionnement voulues.

L'importance de ces limitations et difficultés fait en sorte que, très souvent, bon nombre d'élèves perdent le fil de l'objectif poursuivi par l'expérimentation et l'intérêt qu'elle est censée susciter. De plus, les contraintes matérielles et de temps sont génératrices d'inhibition intellectuelle face à tout éventuel questionnement (explicite ou implicite) de l'élève. En effet, toute hypothèse de fonctionnement qu'il pourrait imaginer ou toute expérimentation complémentaire, importante à ses yeux, est nécessairement confrontée à ces limitations. Dans ces conditions, les travaux de laboratoire deviennent trop souvent des séances où l'apprenant se limite à appliquer, de façon routinière, des recettes et des modes opératoires qui le conduisent le plus rapidement possible à une réponse prévisible et attendue par l'enseignant mais peu signifiante pour lui.

III. NOTRE CONCEPTION D'UNE APPROCHE CONSTRUCTIVISTE DE REDRESSEMENT

Le cheminement intellectuel que doit faire l'apprenant pour construire et pour modifier ses représentations est exigeant. Il fait appel à une richesse expérimentale qui dépasse les conditions d'apprentissage qui sont possibles avec les moyens traditionnels. Le contexte d'apprentissage que sous-tend notre problématique ne saurait se limiter à faire acquérir de nouvelles connaissances. Il s'agit, le plus souvent, de redresser, de transformer et de faire abandonner les représentations antérieures qui se dressent comme de vrais obstacles à l'apprentissage et qui sont profondément ancrées dans la structure conceptuelle de l'apprenant.

Nous constatons que la mise en oeuvre de toutes les conditions évoquées correspond, à plusieurs égards, à la définition d'un système tutoriel intelligent. On y retrouve notamment les concepts de tutoriel, de simulation et de système expert. Selon Giardina, (1992), cet environnement

> *«est basé sur l'idée que la façon la plus naturelle d'apprendre est de faire des choses, de résoudre des problèmes. Dans des environnements interactifs, l'enseignement prend souvent la forme de simulation ou de résolution de problèmes [...]. L'environnement multimédia devient un laboratoire où l'apprenant peut manipuler, observer, changer des données, tester des hypothèses.[...] Limiter ces possibilités peut vouloir dire limiter la nature même de l'apprentissage»*. (pp. 58-59).

A. MODÉLISATION EN SIMULATION

Toutes ces raisons nous amènent à conclure que l'outil par excellence, sinon indispensable, dans les circonstances, est l'ordinateur. Nous sommes d'avis que des stratégies d'apprentissage présentées sous forme d'un didacticiel qui satisferait aux conditions exposées serait des plus aptes à faire cheminer les élèves dans le sens de nos préoccupations. Cela ne veut pas dire que nous proposons un cours centré uniquement sur un

tutoriel informatisé, si flexible soit-il, où l'enseignant n'aurait qu'un rôle limité. Nous pensons plutôt qu'il convient de proposer un ensemble de situations d'apprentissage construites en fonction des représentations des apprenants et qui permettront à ceux-ci de faire un cheminement structuré et le plus autonome possible, basé sur des expérimentations qu'ils effectueront en regard des modèles explicatifs des systèmes. Selon notre conception, il y a toujours une place pour l'enseignement plus traditionnel, dans la mesure où certaines informations de base, des mises en situation ou des contenus théoriques peuvent, à un moment ou à un autre, passer avantageusement par d'autres moyens. Nous sommes conscients, d'ailleurs, qu'une conception trop linéaire et trop rigide d'un tel didacticiel constituerait la meilleure garantie de rejet, autant de la part des apprenants que des enseignants. C'est pourquoi nous le percevons davantage comme un moyen particulièrement riche et privilégié de supporter autant les apprentissages que les enseignements.

Nous nous proposons de créer un contexte global d'apprentissage permettant d'exploiter, de manière optimale, la richesse expérimentale que peut offrir un logiciel de simulation. Il s'agit de fournir à l'élève un fil conducteur qui le mettra systématiquement en présence de situations expérimentales où ses représentations conceptuelles seront mises à contribution, puis mises à l'épreuve par la simulation. On lui proposera des alternatives basées sur les modèles explicatifs dont il pourra expérimenter la validité à l'aide du comportement observé pendant la simulation. On orientera l'élève dans sa démarche à travers les situations de conflit conceptuel et de reconstruction de ses fondements épistémologiques. Il s'agit, en somme, de créer un environnement d'apprentissage, sous forme d'un didacticiel, où l'élève deviendra l'auteur de ses propres apprentissages (peut-il en être autrement ?) à travers des situations expérimentales observables, répétables, modifiables et adaptables à son cheminement.

Il en découle que la démarche expérimentale que nous nous proposons de créer est fort complexe ; elle fait appel à la contribution de nombreux éléments et au respect de plusieurs conditions. Ainsi, elle doit permettre à l'apprenant de tirer des conclusions en temps réel, c'est-à-dire que la rétroaction doit être accessible au fil du déroulement de l'expérimentation et intégrée dans le processus afin qu'il puisse la réinvestir continuellement. Il convient aussi qu'il puisse garder la trace de ses expérimentations et des résultats afin d'y référer ultérieurement. La diversité des situations et les multiples variantes auxquelles le cheminement de l'apprenant donnera naissance demande aussi que le passage de l'une à l'autre se fasse très aisément et rapidement sous peine de tarir la continuité de l'intérêt expérimental. Les situations d'apprentissage devront faire appel aux modèles explicatifs et l'élève aura à y intervenir directement pour configurer l'expérimentation et pour comprendre les interactions entre les variables. Plusieurs expérimentations feront intervenir des phénomènes qui échappent à l'observation directe, tels l'effet du vide dans un vérin ou l'évolution de la relation pression-volume lors du remplissage d'un accumulateur . Nous nous proposons de les rendre explicites, observables et, surtout, sujets d'expérimentation et de simulation.

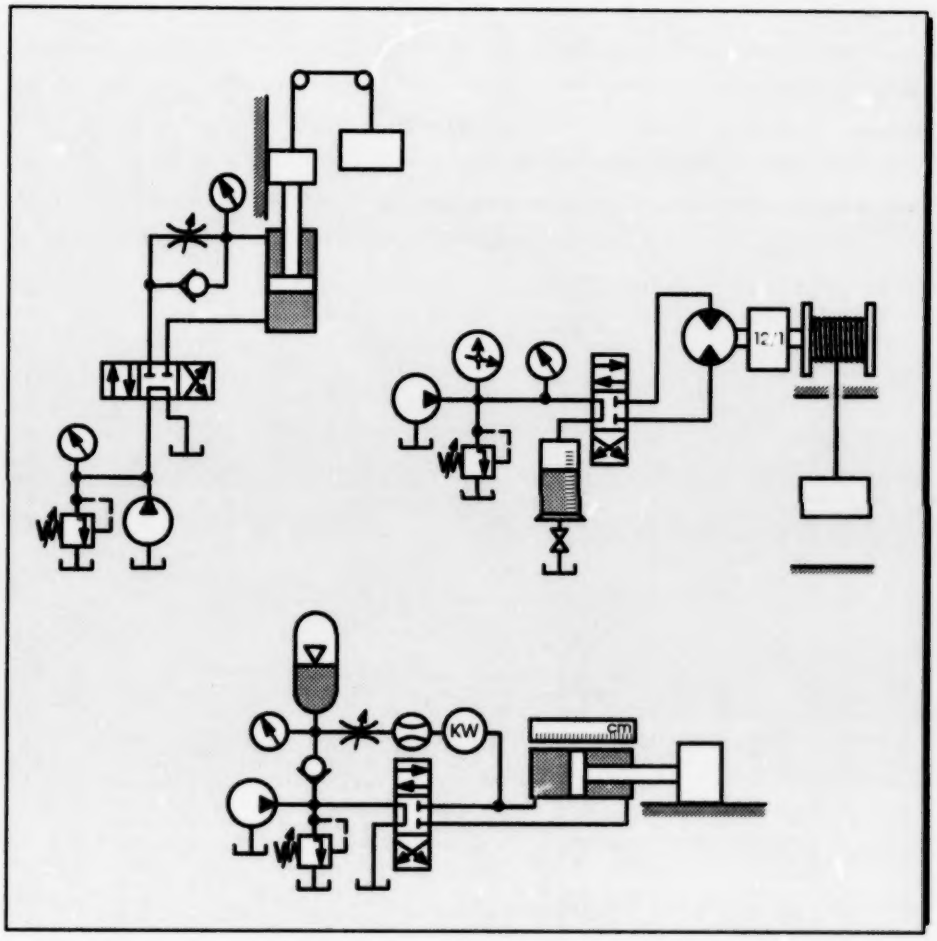
Précisons, par ailleurs, que notre intention n'est aucunement de parvenir à remplacer les séances de travaux de laboratoire conventionnels ou encore de prétendre que les expérimentations avec des équipements

réels sont inutiles. Il s'agit plutôt de faire en sorte que les situations expérimentales deviennent le plus intelligibles et le plus riches possible, et, surtout, qu'elles permettent à l'élève de découvrir les relations internes entre les variables qui régissent les phénomènes, rendus observables, et d'accéder à des représentations plus exactes et plus stables des modèles explicatifs et des concepts qui les sous-tendent. Car c'est bien là que réside le problème fondamental d'apprentissage auquel nous désirons contribuer à trouver des solutions.

Dans l'environnement de simulation informatisé que nous envisageons, l'élève pourra, très rapidement (1 ou 2 minutes), construire à l'écran un système (un circuit) hydraulique ou pneumatique complet et procéder à sa simulation de la manière suivante : à l'aide de la souris, il sélectionnera les composants nécessaires tels pompe, vérin, distributeur, limiteurs de pression et de débit, moteur, etc. (ces composants se présenteront sous forme d'icônes et de symboles normalisés qui constituent le langage graphique d'usage dans le domaine). L'élève les disposera à l'écran, puis les reliera avec des conduits et raccords; il configurera les paramètres fonctionnels des composants, tels le débit et la cylindrée d'une pompe, les surfaces actives et la course d'un vérin, le réglage d'un limiteur de pression, le volume d'un accumulateur ou la pression de précharge de son gaz; il fera intervenir des mécanismes usuels tels glissières, leviers, convoyeurs, treuils, réducteurs de vitesse et poulies, sur lesquels agira le système et auxquels l'élève appliquera des charges menantes ou résistantes. Le système complet ainsi construit pourra être simulé; les composants et les mécanismes effectueront alors les mouvements illustrant le comportement du circuit, selon les paramètres définis (en temps réel, accéléré ou ralenti), tandis que des appareils de mesure tels manomètre, débitmètre, wattmètre et tachymètre, permettront d'analyser le comportement du système. L'élève pourra étudier des phénomènes difficilement observables avec des systèmes réels, tels la perte de contrôle d'une charge et la formation du vide dans un vérin, ou l'évolution de l'énergie restituée durant le délestage d'un accumulateur; il pourra aussi modifier la morphologie du système, en créer des variantes, chercher à les optimiser et explorer toutes les hypothèses voulues.

La figure suivante illustre trois exemples de circuits hydrauliques, avec quelques mécanismes usuels, qui pourront être construits et simulés avec le logiciel projeté. À noter particulièrement des appareils de mesure qui ne se retrouvent pas normalement dans les circuits réels. Ils sont conçus dans un but essentiellement didactique : dans le circuit de droite, on retrouve un chronomètre à déclenchement par paliers de pression (paramétrables) ainsi qu'un récipient gradué permettant de mesurer le volume accumulé. Dans le circuit au dessous, on retrouve un wattmètre (mesure de la puissance hydraulique en termes de Pression x Débit), ainsi qu'une règle graduée permettant de mesurer les déplacements. C'est à partir des mesures prises avec ces appareils, pendant la simulation, et en choisissant les moments et les endroits opportuns pour les prendre, que l'élève pourra faire générer, à l'ordinateur, les courbes caractéristiques des modèles explicatifs. Ces modèles illustreront, au choix, les conditions de

fonctionnement «idéales» ou «réelles». De cette manière, l'élève bénéficiera d'une rétroaction qui s'intégrera continuellement dans son processus d'apprentissage, au fil de ses expérimentations.



En résumé, cet environnement d'apprentissage informatisé devrait permettre à l'élève de créer des situations expérimentales complètes, de les configurer à volonté, de les simuler et d'en élaborer les courbes caractéristiques. Il pourra ainsi explorer toutes les hypothèses de fonctionnement voulues menant à la découverte des modèles explicatifs. Cet environnement procurera une richesse d'apprentissage accrue, ainsi qu'une plus grande autonomie et flexibilité à l'apprenant, comparativement aux expérimentations que l'on peut réaliser avec les équipements de laboratoire conventionnels.

Nous avons déjà mis en oeuvre quelques éléments de ce logiciel, notamment le prototype des fonctions de base du simulateur. C'est avec lui que nous avons présenté les situations expérimentales aux élèves pendant les entrevues cliniques dont nous avons fait état au chapitre II.

Présentement, nous travaillons à intégrer les modèles explicatifs dans les situations d'apprentissage et à les rendre interactifs avec l'usager. À cet égard, notre objectif consiste à permettre l'élaboration des courbes caractéristiques à partir des données générées en cours d'expérimentation. Pour ce faire, nous utiliserons l'ordinateur simultanément en mode contrôle de procédés et en mode simulateur, c'est-à-dire que les mesures prises avec les divers appareils seront automatiquement prises en compte et utilisées, au fil de la simulation, pour la construction des courbes caractéristiques. Cet aspect présente un grand intérêt, particulièrement lors de l'assimilation des concepts, alors que l'apprenant doit évoluer progressivement du concret vers l'abstrait, faisant graduellement appel à des représentations de plus en plus symboliques.

CONCLUSIONS

Dans ce rapport de recherche nous avons exposé l'état de nos travaux et réflexions sur trois sujets principaux : l'analyse conceptuelle de l'énergie des fluides, les représentations erronées des élèves à l'égard des concepts de cette discipline et, finalement, les grandes lignes d'une approche constructiviste susceptible de redresser ces représentations et, plus généralement, d'améliorer l'enseignement de l'énergie des fluides. Nous aborderons maintenant la question des limites de nos travaux et tenterons, par la suite, de dégager les éléments qui nous paraissent les plus aptes à susciter des réflexions chez les enseignants.

En ce qui a trait à l'analyse conceptuelle, nous avons exposé les raisons pour lesquelles il convient de lui accorder une grande importance. Ainsi, nous adhérons fortement à ces propos d'Audigier et al. (1991) :

> *«Elle est une façon de présenter les concepts non comme une succession d'énoncés, de définitions séparées les unes des autres, mais comme un ensemble de notions et d'énoncés liés entre eux et organisés en réseau. Dans un premier temps, ces trames sont un outil pour analyser le savoir de référence, mettre en évidence les relations entre les concepts et montrer les grandes réorganisations des savoirs. Dans un second temps, elle est un outil didactique contribuant à l'analyse des représentations des élèves, permettant une gestion plus rigoureuse des apprentissages et facilitant la détermination des objectifs.»* (p. 78)

Nous avons constaté l'absence d'une méthodologie explicite pour conduire une telle analyse, et avons exposé notre démarche consistant à procéder selon deux approches complémentaires : l'analyse des fonctions de travail et les exigences intrinsèques de la discipline. Cette démarche, tout prometteuse qu'elle nous paraisse, n'est pas pour autant éprouvée ni validée par d'autres travaux semblables.

Le produit de cette analyse a pris la forme d'une explicitation des fonctions technologiques des systèmes d'énergie des fluides, ainsi que de modèles explicatifs permettant de rendre intelligibles les relations entre les concepts, ce qui constitue la trame conceptuelle de la discipline. Toutefois, nous sommes conscients que ces modèles explicatifs sont encore à un stade préliminaire et qu'ils sont peu exploitables par les enseignants dans leur état actuel. Cela est dû, nous l'avons dit, au fait qu'ils n'étaient pas disponibles dans les manuels et qu'il a fallu les développer. Nous travaillons présentement à les compléter.

Pour ce qui est des représentations des élèves, à l'aide du questionnaire écrit, nous avons identifié une vingtaine de fausses représentations. Dans les entrevues cliniques, nous avons cherché à approfondir leurs fondements. À la suite de quoi, dans une démarche de synthèse, nous avons formulé

des hypothèses de représentations beaucoup plus générales et qui sous-tendraient la plupart des représentations observées. Cette démarche fait appel, nécessairement, à des interprétations qui vont au-delà des propos directs des élèves ce qui implique des extrapolations qui ne sont pas exemptes de risque. Par le fait même, ces hypothèses de représentations mériteraient d'être validées plus avant. Elles constituent cependant un matériel de réflexion qui nous paraît fertile et fort pertinent pour les enseignants qui s'intéressent à cette question tellement complexe. Bien entendu, nous devons signaler la faible quantité de données obtenues sur des concepts centraux, notamment l'énergie, la chaleur et la puissance. Encore là, les enseignants trouveront peut-être matière à réflexion, car cette situation nous semble davantage refléter la situation des enseignements dispensés, plutôt qu'attribuable à une quelconque faiblesse dans notre méthodologie. Il est important de signaler aussi le fait que l'étude fait ressortir l'existence de fausses représentations sur des notions de mécanique newtonienne, que nous considérions comme prérequises, et pour lesquelles nous n'avions pas prévu des situations particulières. La réalité nous montre les limites de cette présomption et illustre la complexité des interrelations de la structure conceptuelle ainsi que la nécessité d'élargir les enseignements par delà des frontières immédiates d'une discipline.

Par ailleurs, nous pensons que le fait que ces situations ont été présentées à l'aide d'un logiciel de simulation et que les élèves pouvaient procéder à des expérimentations tout au long du déroulement de l'entrevue a constitué un élément très significatif en ce qui concerne la plus grande quantité et qualité des propos recueillis, comparativement à celle des réponses obtenues à l'aide du questionnaire écrit. À ce stade, nous ne sommes pas en mesure d'identifier ni d'expliquer les causes spécifiques de cette différence mais il s'agit là d'un aspect qui mériterait un approfondissement.

Nous insisterons aussi sur le fait que les situations présentées aux élèves, autant dans le questionnaire écrit qu'au cours des entrevues, peuvent être considérées comme étant simples du point de vue de la discipline, c'est-à-dire qu'elles font appel à des connaissances et à des concepts de base, mais aussi qu'elles comprennent peu d'éléments et nécessitent une compréhension qualitative des phénomènes mis en cause. Nous avons évité systématiquement les questions faisant appel à la mémorisation ou à l'utilisation de formules et calculs complexes. Ici encore, il y a matière à réflexion quant aux enseignements dispensés, centrés sur des contenus de plus en plus gavés. Les résultats montrent que les élèves ingurgitent, souvent même réussissent, mais... apprennent-ils ? Assimilent-ils vraiment ? Quel est le prix de ce placage de connaissances ?

Ceci nous amène au dernier aspect traité dans ce rapport, soit les stratégies pédagogiques de rattrapage. Par delà les manières spécifiques d'aborder une situation en particulier, il nous semble que les grands principes suivants sont incontournables :

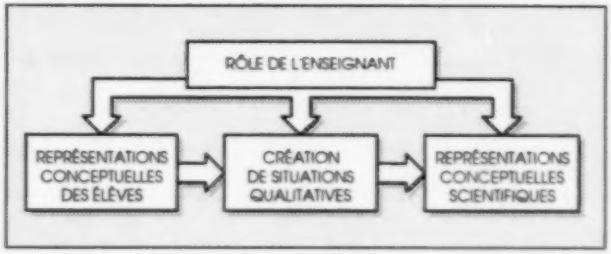
Premièrement, les apprentissages se construisent à partir des interactions entre celui qui apprend et ce qu'il essaye d'apprendre. Personne d'autre que lui ne peut créer ces interactions. Au mieux, on peut faciliter leur émergence en créant l'environnement expérimental le plus riche possible.

Deuxièmement, ces interactions confronteront occasionnellement, voire fréquemment, l'apprenant à des expérimentations dont les résultats seront en rupture avec ses expériences passées. Ainsi, ses attentes ne seront pas satisfaites et il voudra comprendre. Dès lors, une démarche de redressement, exigeante sur le plan intellectuel, s'amorce et au cours de laquelle des apprentissages très signifiants peuvent s'effectuer. C'est à ce niveau que la qualité de l'environnement d'apprentissage peut faire toute la différence. Dès lors deux grands concepts émergent, autour de la notion de système, pour assurer la cohérence et la richesse de cet environnement : 1) la nécessité que les expérimentations conduisent, de manière explicite et intelligible, à l'apprentissage de ce que nous appelons les modèles explicatifs, et 2) l'idée voulant que les concepts doivent d'abord être maîtrisés au plan qualitatif avant d'être abordés au plan quantitatif. Rappelons les propos de Lévy-Leblond (1980) à cet égard :

> *«[...] Avant toute analyse théorique d'un problème physique (mise en équations, résolution formelle, calculs numériques), une étude qualitative préalable en est absolument nécessaire. Évaluation empirique des paramètres d'importance dans le problème, utilisation fonctionnelle des lois physiques ou de la simple analyse dimensionnelle pour étudier la dépendance mutuelle des quantités physiques considérées, estimation des ordres de grandeur correspondants, telles sont les formes principales de cette démarche préliminaire. [...] Il s'agit ici d'essayer d'obliger l'étudiant (et l'enseignant !) à penser, en lui supprimant le recours automatique aux «équations». Ce n'est pas dire, certes, que les lois physiques traduites par ces équations soient inutiles pour répondre à ces questions, bien au contraire, dans la mesure où beaucoup de réponses vont à l'encontre du «sens commun» ordinaire, ou lui sont étrangères. Mais les voir à utiliser l'aptitude des relations entre concepts suffisamment simples (dépendance proportionnelle, inverse, indépendance, etc.) pour pouvoir, et devoir, être mises en œuvre sans qu'il soit besoin de «résoudre des équations» même s'il est parfois (mais rarement) utile de les écrire.»* (pp.7 - 8).

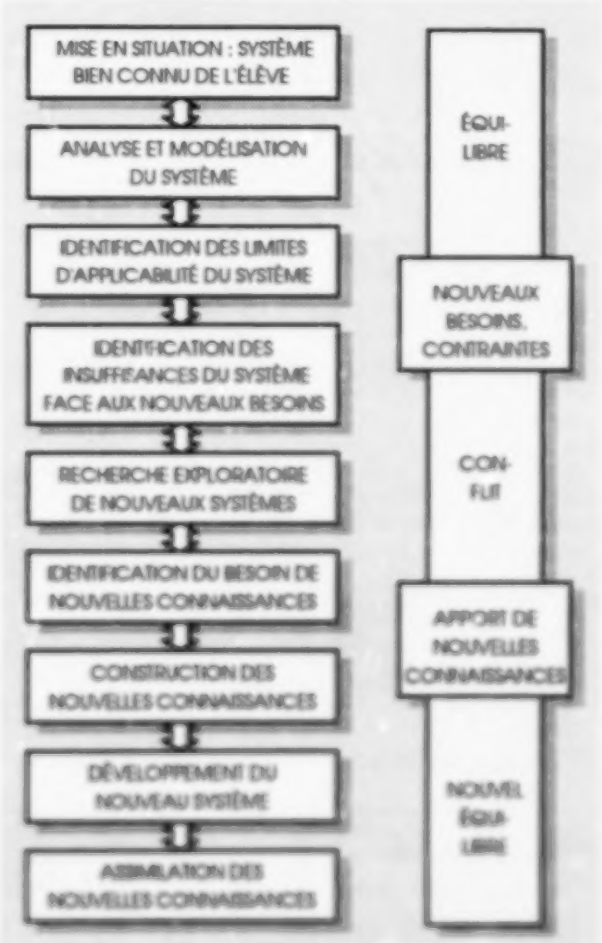
Nous sommes tous conscients que les pratiques pédagogiques en vigueur ne tiennent pas compte, ou pour le moins ne prévoient pas, ces quelques éléments. C'est pourquoi il convient que les enseignants soient sensibilisés et prennent conscience de leur importance. Il convient aussi que des expérimentations nombreuses aient lieu afin de trouver les meilleures façons d'opérationnaliser le modèle constructiviste, résultant en général du conflit conceptuel, en tenant compte du contexte de l'enseignement techno-scientifique.

En conclusion, nous avançons les suggestions suivantes à l'intention des enseignants que la chose pourrait intéresser : si le rôle de l'enseignant est (notamment) d'amener l'élève à évoluer de la situation de départ vers une situation plus complexe et plus conforme aux savoirs reconnus, tel qu'illustré dans le diagramme suivant, il est indispensable de prendre en considération cette situation



de départ. Or, nous l'avons vu, elle est caractérisée par la présence de nombreuses représentations conceptuelles erronées. Les situations d'apprentissage susceptibles de les redresser devraient avant tout être de nature qualitative. Pour les créer, il faut investir une quantité importante d'imagination et de créativité.

Le diagramme suivant illustre les étapes d'une approche globale permettant d'opérationnaliser les mécanismes du conflit conceptuel et d'articuler les situations d'apprentissage selon un processus dans lequel l'apprenant peut mettre à contribution ses connaissances de départ, en identifier certaines limites et prendre conscience de l'intérêt sinon de la nécessité d'en acquérir de nouvelles, de les faire évoluer. Cette approche permet aussi d'opérationnaliser la démarche de modélisation selon l'esprit de l'approche système et les grandes lignes que nous venons de dégager dans cette conclusion. Nous pensons que cette approche est suffisamment générale pour qu'elle puisse être appliquée dans plusieurs disciplines, particulière-ment en sciences et techniques physiques. En ce qui nous concerne, nous sommes à présent en voie de développer des applications pour l'enseignement de l'énergie des fluides.



BIBLIOGRAPHIE

Ackermann, W., et Rialan, B. (1963). «*Transmission et assimilation de notions scientifiques*». Paris, C.E.R.P.

Actes du 5e colloque sur la recherche en formation professionnelle, UQAC, Chicoutimi, 1986.

Actes du 6e colloque national sur la recherche en formation professionnelle, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 1988.

Actes de la rencontre scientifique en enseignement professionnel, Université Laval, Ste-Foy, 1989.

Actes du symposium sur l'intégration de la micro-informatique à la formation technique et professionnelle, session de Québec, Agence de coopération culturelle et technique et École internationale de Bordeaux, Talence, France, 1990.

Astolfi, J.P. et Develay, M. (1989). «*La didactique des sciences*», Que sais-je ?, PUF, Paris.

Audigier, F. et Filion, P. (dir) (1991). «*Enseigner l'histoire des sciences et des techniques*», INRP, Paris.

Ausubel, D.P. (1968). «*Educational psychology : A cognitive view*», Holt, Rinehart & Winston, N.Y.

Blondin, C., Closset, J-L. et Lafontaine, D. (1992). «*Raisonnements naturels en hydrodynamique*», Revue Française de Pédagogie, No 100, Paris.

Boll, M. (1961). «*Histoire de la mécanique*» ,Que sais-je ? PUF, Paris

Cahiers de l'enseignement collégial, (1990), divers tomes, Direction générale de l'enseignement collégial. Ministère de l'enseignement supérieur et de la science, Gouvernement du Québec.

Capell, K. (1987). «*Interesting results for rolling and slipping*», American Journal of Physics, No 55.

Cervera, D., Métioui, A., Youssef, A.Y. et Bigras, P. (1991). «*Les représentations des élèves en hydraulique et l'apprentissage d'un objet technique*», congrès de l'ACFAS, actes du colloque.

Classification canadienne descriptive des professions, (1971, 1985), Ministère des approvisionnements et services, Gouvernement du Canada, Ottawa.

Closset, J-L. (1992). «*Raisonnements en électricité et en hydrodynamique*», Aster, No 14, INRP, Paris.

De Kleer, J. (1984). «*How circuits work*», Artificial intelligence, No 24.

De Rosnay, J. (1975). «*Le macroscope - vers une vision globale -* », Seuil, Paris.

De Vecchi, G. (1987). «*Utilisation des représentations enfantines en biologie et formation des maîtres*», Aster, No 3.

Driver, R., Guesne, E. et Tiberghien, A. (1985). «*Children's ideas in science*», Open University Press, England.

Dupin, J. et Johsua, S. (1988). «*Analogies and «modeling analogies» in teaching: Some examples in basic electricity*», Science education, No 72 No 2.

Gagnon, R., Besançon, J. et Jean, P. (1990). «*Analyse d'un programme d'électromécanique en ses concepts et principes physiques: méthode et application*», Revue internationale de pédagogie, No. 35 (3). UNESCO, Paris.

Gagnon, R., Jean, P., Gagné, R., Leclerc, L. P. et Besançon, J. (1989). «*Analyse de programmes techniques en termes de concepts et principes scientifiques*». Actes de la rencontre scientifique en enseignement professionnel, Université Laval, Québec.

Giardina, M. (1992). «L'interactivité dans un environnement d'apprentissage multimédia», Revue des sciences de l'éducation, vol XVIII, No 1, Québec.

Giordan A., Astolfi, J.-P., Develey, M. et al. (1987 a). «*L'élève et/ou les connaissances scientifiques*». Éditions Peter Lang SA, Berne, 2e édition.

Giordan, A. et de Vecchi, G. (1987 b). «*Les origines du savoir; des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*», Delachaux & Niestlé S. A., (Suisse), Paris.

Hewson, M.G. et Hewson, P.W. (1983). «*Effect of instruction using students prior knowledge and conceptual change strategies on science learning*», Journal of Research in Science Teachir No 20.

Jonnaert, P. (1988). «*Conflits de savoirs et didactique*». De Boeck-Wesmael s.a., Bruxelles.

Kaes, R. (1968). «*Images de la culture chez les ouvriers français*». *Cujas*.

Kariotoglou, P., Psillos, D. et Vallassiades, O. (1990). «*Understanding pressure : didactical transpositions and pupil's conceptions*», Physics Education, No 25.

Kariotoglou, P., Koumaras, P. et Psillos, D. (1993). «A constructivist approach for teaching fluid phenomena», Physics Education, No. 28.

Kuhn, T. (1970). «*La structure des révolutions scientifiques*», Flammarion, Paris.

Lisonté, T.(1986). «*L'acquisition des concepts scientifiques sous-jacents à la formation technologique dans l'enseignement professionnel au secondaire*» (2 tomes) DGEPU, MESS, Gouvernement du Québec.

Lafontaine, D., Blondin, C. et Closset, J. L. (1990). «*Résolution de problèmes d'hydrodynamique face à un circuit concret. Comparaison des stratégies avant et après apprentissage*». European journal of psychology of education, vol V, No 4.

Laszlo, E. (1969). «*System, structure and experience - Toward a scientific theory of mind*», Gordon and Breach, Science Publishers, Inc., Paris.

Leclerc, L.P., Bessenyon, J. et Nizet, I. (1992). «*Élaboration de modèles conceptuels adaptés à l'enseignement professionnel : une application en agrotechnique*». Aster, No 15, INRP, Paris.

Le Moigne, J.L. (1977). «*La théorie du système général - théorie de la modélisation*». Paris, *PUF*.

Leplat, J. (1978). «*Analyse du travail et genèse des conduites*», International Review of Applied Psychology, Vol. 31, No 1.

Lévy-Leblond, J.-M., (1988). «*La physique en questions : mécanique*», Vuibert, Paris.

Méheut, A. (1992). «*La persistance des représentations spontanées des élèves en physique*», Canadian Journal of Education, vol 15, No 2.

Migne, J.-R. (1976). «*La notion de «représentation» en pédagogie des adultes*». *PO*UR, No 49.

Mountrell, J. (1982). «*Explaining the «at rest» condition of an object*», The Physics Teacher, No 20.

Moscovicchi S. (1961). «*La psychanalyse, son image et son public*». Paris, *P.U.F.*

Muller, E. (1990). «*Distinction between the concepts of weight and mass in high school students*», International Journal of Sci. nce Education, Vol. 12 No 2.

Répertoire des éléments de connaissance par unités modulaires, (1984 et dates multiples), Ministère de l'éducation, Gouvernement du Québec.

Répertoire des profils de formation professionnelle, (1988 et dates multiples), Ministère de l'éducation, Gouvernement du Québec.

Salazar, A., Sanchez-Lavega, A. et Arriandiaga, M.A. (1993). Is the N-Normal law a useful approach to the evaluation?, *Physics Education*, No 28.

Viennot, L. (1978). «*Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*», *Revue française de pédagogie*. No 45.

Osborne, R.J. (1980). «*Force. Learning in Science Project*». Working paper no 16, University of Waikato, Hamilton.

Piaget, J. (1964), «*Six études de psychologie*», Gonthier, Genève.

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. et Gertzog, W.A. (1982), «*Accommodation of a scientific conception : towards a theory of conceptual change*», Science Education, No 66 (2).

Schwab, J.J. (1962), «*The concept of the structure of a discipline*», the Educational Record, No 43.

Walliser, B. (1977), «*Systèmes et modèles*», Éditions du seuil, Paris.

Watts, D.M. (1983). «*A study of school childrens' alternative frameworks of the concept of force*», European Journal of Science Education. No 5 (2).

Watts, D.M., et Zylbersztajn, A. (1981). «*A survey of some childrens' ideas about force*», Physics Education. No 15.

White, B. et Frederiksen, J. (1990), «*Causal model progression as a foundation for intelligent learning environments*», Artificial intelligence, No 42.

Youssef, A.Y., Métioui, A., Bigras, P. et Cervera, D. (1991), «*Les représentations des étudiants du collégial professionnel à l'égard des principes de fonctionnement des circuits hydrauliques*». École de technologie supérieure et Collège de Valleyfield. Rapport de recherche interne.

ANNEXE I

INFORMATIONS DISPONIBLES DANS LES CAHIERS DE L'ENSEIGNEMENT COLLÉGIAL

(EXTRAITS DES CAHIERS)

Techniques de la mécanique

Tronc commun des programmes 241.06, 241.11 et 241.12

OBJECTIF DU TRONC COMMUN

L'objectif du tronc commun est de permettre aux élèves d'acquérir les savoirs et savoir-faire indispensables à tous les techniciens spécialisés dans la transformation des matériaux en produits finis par des moyens mécaniques. A la fin du tronc commun, l'élève sera capable de produire et d'analyser les dessins de pièces mécaniques pour en déterminer les modes de fabrication, pour ensuite assurer l'ordre logique des opérations et la standardisation des méthodes de travail de cette fabrication ; de monter, de régler et d'opérer des machines-outils de type conventionnelle ; d'analyser et de sélectionner, parmi les différents procédés de transformation et de formage, des matériaux les plus connus, les programmes de mise en production, en fonction du matériau utilisé.

241.06 Techniques de génie mécanique (1991)

OBJECTIFS

Afin de répondre aux besoins régionaux, le collège devra déterminer une ou des voies de sortie et choisir ses objectifs parmi la liste suivante :

- fabriquer des prototypes, réparer et modifier des appareils et des instruments ;
- réaliser les dessins détaillés de parties de machines, de pièces mécaniques ou d'installation industrielle à partir de schémas, de dessins de projets ou de relevés effectués sur place ;
- préparer les programmes de mise en production sur machines conventionnelles, automatisées et commandes numériques ;
- produire les dessins et les programmes d'usinage à l'aide de l'ordinateur ;
- planifier et préparer les cheminements critiques servant à l'ordonnancement d'une fabrication mécanique, dans le but de coordonner, selon les possibilités de l'entreprise, le personnel, le matériel, les équipements et la matière d'oeuvre ;

- effectuer des tâches relatives au contrôle de la qualité dimensionnelle ;
- établir, par des analyses ou par des études le temps des opérations de fabrication requis pour les besoins de l'ordonnancement ou de la gamme ;
- préparer les cartes, graphiques et diagrammes, servant à illustrer les circuits de manutention, l'occupation des espaces et la charge des machines ;
- organiser la manutention des pièces et les méthodes de travail à implanter aux postes de travail ;
- analyser les données techniques d'un projet de fabrication mécanique pour utiliser les principes de sciences appliquées dans sa conception et effectuer les calculs nécessaires pour en déterminer les modes de construction, d'utilisation et d'entretien, pour enfin en préparer les schémas et les dessins de projets avec ou sans l'aide de l'ordinateur ;
- concevoir des outils de montage, de contrôle, etc. pour les travaux de production ou d'expérimentation et dessiner les schémas, les dessins de projets, les dessins de définition et les dessins d'ensembles ;
- produire les dessins et les programmes d'usinage à l'aide de l'ordinateur ;
- concevoir et réaliser l'outillage et le montage spécifiques à une production ;
- choisir et améliorer l'outillage destiné à une production ;
- choisir parmi toutes les méthodes actuelles d'automatisation dans les technologies électro-mécanique, pneumatique ou hydraulique, la solution privilégiée en fonction du travail à effectuer ;
- programmer et implanter des automates programmables, robots et machines dédiées.

PERSPECTIVES PROFESSIONNELLES

Les diplômés en Techniques de génie mécanique sont appelés à occuper des fonctions clefs dans toutes les entreprises d'études et centres de recherche où existent un bureau d'étude et un bureau des méthodes chargé de préparer des projets de construction mécanique et de les mettre en production. Dans le cas des grandes entreprises, les diplômés s'intégreront à une structure bien rodée qui leur confiera des tâches spécialisées. Pour les petites entreprises et les centres de recherches la variété des projets sera d'autant plus vaste que l'équipe d'études sera restreinte ; le dynamisme de ce type d'organisations est bien lié à la compétence et à la créativité de ses concepteurs. Ce technicien pourra œuvrer dans des domaines variés et complexes tels que : bureau d'étude ; bureau des méthodes ; planification de la production ; programmation de commande numérique ; département d'inspection ; dessin et fabrication assistée par ordinateur ; commande de procédés industriels ; asservissement et régulation de machines ; systèmes logiques et séquentiels ; conception d'outillage et de moules ; etc.

Leur formation, axée sur la technologie conventionnelle et sur la technologie de pointe, leur permettra de s'intégrer facilement au marché du travail. Ils pourront ainsi faire carrière dans un secteur prometteur comme celui de la conception et de la fabrication assistées par ordinateur.

Énergie des fluides I (241-520-80)

OBJECTIFS

Identifier les composantes d'un système hydraulique et pneumatique. Sélectionner les éléments requis à une fonction donnée. Élaborer des circuits simples en choisissant les composantes appropriées. Suivre l'opération d'un système, et déterminer la fonction des différents éléments.

ANNEXE II

LIENS ENTRE LES FONCTIONS-TYPES ET LES TÂCHES RELIÉES À L'ÉNERGIE DES FLUIDES

Source : Répertoires des profils de formation professionnelle
des secteurs des fabrications mécaniques (1984) et de l'entretien mécanique (1988)

FONCTION-TYPE		TÂCHES RELIÉES À L'ÉNERGIE DES FLUIDES
Machiniste général	13	Réparer des machines industrielles.
Outilleur-matriceur	11	Effectuer les essais sous presse de moules à coquille ou à plastique, ou de matériel à extrusion, et en corriger les défauts.
	12	Effectuer les essais de montage d'outillage et les essais d'usinage sur des machines de production.
	13	Remplacer les composantes défectueuses sur les machines de production.
	14	Régler les presses d'estampage et de forgeage en vue d'une production donnée.
Technicien en fabrication mécanique	11	Modifier des équipements industriels afin de les adapter aux exigences de la production.
Technicien à la fabrication des produits en matière plastique	4	Entretenir l'équipement de transformation des matières plastiques conformément aux normes, essais et prescriptions.
	6	Modifier les machines servant à la fabrication de produits en matière plastique.
Conducteur-régleur de machines à traitement des plastiques	2	Établir le cycle des opérations et régler les paramètres (températures, pressions, dosage, vitesses, etc.) de façon à obtenir des pièces conformes aux prescriptions.
	3	Mouler des objets en plastique par injection, compression, soufflage ou extrusion.
	4	Entretenir les machines de traitement des plastiques.

FONCTION-TYPE	TÂCHES RELIÉES À L'ÉNERGIE DES FLUIDES	
Mécanicien, mécanicienne d'entretien de machines industrielles	2	Diagnostiquer les anomalies et les défectuosités de fonctionnement des systèmes mécaniques.
	3	Réparer les machines industrielles de production.
	5	Modifier les machines et les équipements selon les besoins, les plans et les directives.
	8	Réparer des pompes et des compresseurs.
	10	Dépanner des systèmes pneumatiques.
	11	Dépanner des systèmes hydrauliques.
	14	Effectuer l'entretien préventif des machines industrielles.
Électromécanicien, électromécanicienne	1	Diagnostiquer les anomalies et les défectuosités de fonctionnement des systèmes mécaniques, hydrauliques et pneumatiques.
	2	Diagnostiquer les anomalies et les défectuosités de fonctionnement des systèmes électriques.
	4	Dépanner des machines industrielles contrôlées par automates programmables.
	5	Dépanner des machines industrielles contrôlées par ordinateur.
	7	Effectuer l'entretien préventif et prospectif de machines ou de systèmes industriels automatisés.
Technicien ou technicienne en entretien mécanique	3	Observer visuellement ou au moyen d'instruments d'essai ou de mesure les conditions d'exploitation du matériel et des machines de production afin d'en connaître l'état, d'estimer leur fiabilité et de recommander, au besoin, les opérations d'entretien nécessaires.
	4	Ajuster et monter des pièces mécaniques pour construire, réparer, modifier, entretenir et rénover des machines industrielles.
	10	Déterminer et organiser le service d'entretien préventif ou prospectif.
	12	Réparer et entretenir les éléments hydrauliques et pneumatiques de la machinerie lourde.

ANNEXE III

ANALYSE DÉTAILLÉE DES TÂCHES TECHNIQUES RELIÉES À L'ÉNERGIE DES FLUIDES

1. CONCEPTION, MODIFICATION ET ADAPTATION DE SYSTÈMES

Il s'agit de tâches reliées à la conception de systèmes d'énergie des fluides, pour des applications courantes, mais pouvant présenter un certain degré de complexité, c'est-à-dire des tâches conduisant à l'élaboration de solutions cohérentes et fonctionnelles à des problèmes techniques pour lesquels la contribution soutenue d'un spécialiste n'est pas normalement nécessaire. Ces tâches comportent les principaux éléments suivants:

1.1- Déterminer les paramètres et les conditions de fonctionnement du système.
- 1.1.1- Déterminer le type de travail à effectuer.
  - 1.1.1.1- Déterminer le cycle de travail.
  - 1.1.1.2- Déterminer la durée du cycle.
  - 1.1.1.3- Déterminer l'amplitude des mouvements.
  - 1.1.1.4- Déterminer les vitesses.
  - 1.1.1.5- Déterminer les forces mises en cause.
- 1.1.2- Déterminer les conditions environnantes du système.
  - 1.1.2.1- Déterminer la source principale d'énergie et les sources alternatives.
  - 1.1.2.2- Déterminer les températures extrêmes de fonctionnement.
  - 1.1.2.3- Déterminer les conditions du milieu ambiant (poussières, abrasifs, explosifs...).
- 1.1.3- Déterminer les contraintes techno-économiques.
  - 1.1.3.1- Déterminer le coût initial visé.
  - 1.1.3.2- Déterminer le rendement énergétique visé.
  - 1.1.3.3- Déterminer le coût d'exploitation visé.
  - 1.1.3.4- Déterminer la longévité attendue du système.

1.2- Concevoir le circuit du système et en élaborer le diagramme.
- 1.2.1- Déterminer les fonctions de base du cycle de travail.
  - 1.2.1.1- Séquence des mouvements.
  - 1.2.1.2- Contrebalancement des charges.
  - 1.2.1.3- Limitation de débit.
  - 1.2.1.4- Réduction de pression.
  - 1.2.1.5- Verrouillages de sécurité.
  - 1.2.1.6- Régénération de débit.
  - 1.2.1.7- Accumulation d'énergie.
  - 1.2.1.8- Protection contre les inerties.
  - 1.2.1.9- Protection contre les emballements.
- 1.2.2- Déterminer les conditions d'opération du cycle.

1.2.2.1- Déterminer les conditions de démarrage du cycle.
1.2.2.2- Déterminer les conditions logiques de fonctionnement.
1.2.2.3- Déterminer les conditions à respecter en cas de panne, d'urgence.
1.2.2.4- Déterminer les conditions de fonctionnement externes au système (synchronisation avec autres éléments).

1.2.3- Déterminer les conditions d'optimisation du système.
1.2.3.1- Rendement énergétique.
1.2.3.2- Équilibre thermique.
1.2.3.3- Uniformité des mouvements.

1.2.4- Déterminer la technologie la mieux adaptée en regard des conditions de fonctionnement du système.

1.2.4.1- Établir le bilan des avantages et des inconvénients de chaque technologie: mécanique, électricité, hydraulique, pneumatique.
1.2.4.2- Déterminer la technologie la mieux adaptée.

1.2.5- Concevoir le circuit du système et en élaborer le diagramme.

1.3- Déterminer les caractéristiques et les spécifications des composants du système.

1.3.1- Déterminer les caractéristiques et les spécifications théoriques des composants.

1.3.1.1- Pompes et moteurs:
- Cylindrée
- Vitesse d'entraînement
- Pression maximale
- Courbes de rendement
- Débit maximal
- Type de commande

1.3.1.3- Régulateurs de débit:
- Débit maximal
- Pression maximale
- Précision: compensateurs

1.3.1.4- Distributeurs:
- Nombre de voies et de positions
- Pression maximale
- Débit maximal
- Organes de commande

1.3.1.5- Vérins:
- Diamètre du piston et de la tige
- Course
- Pression maximale
- Type de construction
- Type de joints d'étanchéité
- Fixations externes

1.3.1.6- Accumulateurs:
- Volume
- Pression maximale
- Pression de précharge
- Type de construction

1.3.1.7- Filtres:
- Précision.
- Débit.

1.3.1.8- Réservoir:
- Capacité
- Surface pour le montage des composants
- Surface de dissipation de la chaleur

1.3.1.9- Divers:
- Raccords
- Débitmètres
- Clapets anti-retour
- Échangeurs de chaleur

1.3.2- Déterminer les caractéristiques et les spécifications des composants disponibles sur le marché qui satisfont les besoins (Réf. 1.3.1.).

1.3.3- Choisir, parmi les composants disponibles, ceux qui permettent le meilleur compromis possible.

1.3.3.1- Déterminer les écarts entre les caractéristiques théoriques et celles des composants disponibles.

1.3.3.2- Choisir les composants permettant un équilibre optimal entre les performances réelles, les exigences technologiques et les contraintes économiques.

1.4- Élaborer les plans et devis d'implantation et de fonctionnement du système.

1.4.1- Déterminer les spécifications de fonctionnement du système.
1.4.2- Produire le protocole de mise en route du système.
1.4.3- Déterminer les aménagements mécaniques d'implantation du système.
1.4.4- Produire les plans et devis.

2. MONTAGE, RÉGLAGE ET MISE AU POINT DE SYSTÈMES

Il s'agit de tâches reliées à l'implantation et à la mise au point de systèmes, à partir de plans et devis, c'est-à-dire de procéder au montage des composants et des conduits, et d'effectuer les réglages de fonctionnement. Ces tâches comportent les principaux éléments suivants:

2.1- Assembler les divers composants du système.

2.1.1- Identifier les composants d'après le diagramme du circuit et les spécifications.

2.1.2- Concevoir un aménagement pour la disposition des composants, des conduits et des accessoires, ainsi que des surfaces de montage, lorsque cet aménagement n'est pas précisé dans les plans et devis.

2.1.3- Monter les composants, conduits et accessoires selon le diagramme du circuit et les spécifications.

2.2- - Effectuer les opérations, réglages et mises au point, selon les spécifications, notamment lors de la mise en route des systèmes.

3- ENTRETIEN ET RÉPARATION DE SYSTÈMES

Il s'agit de tâches visant à diagnostiquer les troubles de fonctionnement des systèmes, à y remédier et à en assurer le bon fonctionnement, notamment par des mesures d'entretien préventif. Ces tâches comportent les principaux éléments suivants:

3.1- Déceler les troubles de fonctionnement.

3.1.1- Caractériser les troubles de fonctionnement.

3.1.1.1- Bruits, vibrations, température excessive.
3.1.1.2- Pression, vitesses, forces inadéquates.
3.1.1.3- Irrégularité des mouvements.
3.1.1.4- Cycle de travail altéré.

3.1.2- Identifier la nature et la source du problème.
3.1.2.1- Mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique, autres.
3.1.2.2- Externe ou interne au système.

3.2- Diagnostiquer les causes de mauvais fonctionnement.

3.2.1- S'il s'agit d'un trouble imputable au système, identifier le composant présumée défectueuse.

3.2.2- Effectuer les tests, mesures et ajustements permettant de conclure si le trouble est causé par le composant en question.

3.3- Réparer et reconditionner les composants.

3.3.1- Démonter le composant défectueux.
3.3.2- Vérifier l'état des pièces:
- Bris.
- Usure excessive.
- Jeux de fonctionnement.
- Grippages.
- Colmatage des conduits (contaminants solides).

3.3.3- Reconditionner (lorsque possible) et remonter le composant.

3.4- Vérifier les performances du système en regard des spécifications.

3.4.1- Effectuer les tests, mesures, vérifications et, le cas échéant, les ajustements nécessaires, afin que le système fonctionne conformément aux spécifications.

3.5- Assurer l'entretien préventif du système.

3.5.1- Effectuer les tests, ajustements, vérifications, changements et reconditionnements prévus dans le plan d'entretien préventif.
3.5.2- Tenir un registre détaillé des interventions d'entretien et de réparation du système, afin d'établir ou d'améliorer le plan d'entretien préventif.

ANNEXE IV

QUESTIONNAIRE ÉCRIT (VERSION S.I. ET U.S.) ET FEUILLE D'INSTRUCTIONS

RECHERCHE EN ÉNERGIE DES FLUIDES

TEST D'ÉVALUATION DES CONNAISSANCES

TOUT D'ABORD, UN GRAND MERCI ! VOTRE TRAVAIL NOUS AIDERA À MIEUX COMPRENDRE LES PROBLÈMES QUE POSE L'APPRENTISSAGE DE L'ÉNERGIE DES FLUIDES ET NOUS ESPÉRONS CONTRIBUER À LES RÉSOUDRE. BON TRAVAIL !

INSTRUCTIONS GÉNÉRALES

1- Vous pouvez choisir le test dans le système d'unités qui vous convient le mieux:

SI -Métrique: Newton, Pascal (N/m^2), kPa, Bar (10 N/cm^2), litre/minute, Watt, kW.

US -Anglo-saxon: Livre, pouce, PSI (lb/po^2), GPM (gallon US/minute), H.P.

2- On veut surtout connaître le raisonnement que vous appliquez à chaque question. C'est pourquoi on vous demande d'expliquer et de justifier vos réponses. Aussi, si possible, indiquez le principe, la loi ou la règle que vous appliquez à chaque situation.

3- Répondez directement sur le questionnaire.

4- Les questions demandent des réponses courtes et exigent très peu (ou pas) de calculs.
La seule formule nécessaire est : **PRESSION = FORCE / SURFACE**

5- Dans tous les cas, on néglige les frottements mécaniques ainsi que le poids du liquide et des appareils (exemple: le poids de la tige et du piston d'un vérin, etc.).

5- Tous les appareils (vérins, pompes, conduits, etc.) sont considérés complètement remplis d'huile. Les moteurs et les pompes sont en marche.

7- Afin de concentrer votre attention sur les situations visées, les circuits ont été simplifiés. Ils ne permettent que la sortie (ou l'entrée) du vérin.

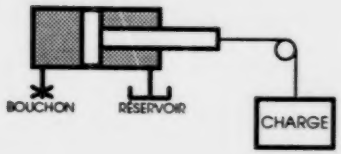
8- Les résultats de ce questionnaire resteront anonymes, c'est-à-dire que vos noms ne seront pas associés aux résultats.

Daniel Cervera
Responsable du projet
Collège de Valleyfield

QUESTIONNAIRE ÉCRIT (VERSION S.I.)

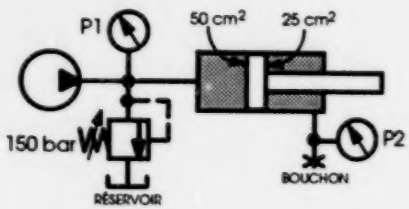
Si

1- La charge descendra-t-elle ? Si oui, dans quelles conditions ? Si non, pourquoi ?



Expliquez votre raisonnement.

2- Le vérin avancera-t-il ? Que se passera-t-il ?

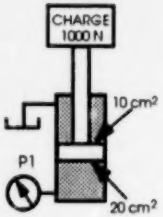


Expliquez votre raisonnement.

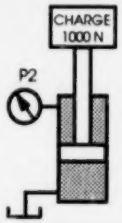
Déterminez la pression aux manomètres : P1 = P2=

SI

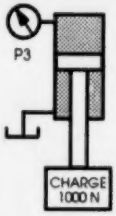
3- Dans les montages suivants, les vérins et les charges sont identiques. Indiquez, pour chaque cas, si la charge descendra ou non. Expliquez le raisonnement que vous appliquez pour chaque situation.



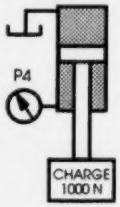
MONTAGE 1



MONTAGE 2



MONTAGE 3



MONTAGE 4

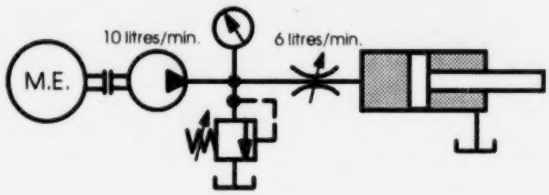
Déterminez la pression aux manomètres : P1 = P2 = P3 = P4 =

4- Lorsqu'une pompe vieillit, les pièces s'usent et les fuites internes augmentent de manière importante. Alors la pompe est portée à chauffer plus qu'auparavant, surtout si elle travaille à haute pression. Comment s'explique ce réchauffement ? Quelle en est la cause ?

SI

5- Le moteur électrique (M.E.) qui entraîne la pompe de ce système consomme, dans les conditions montrées, une puissance de 2 kW. Que devient cette puissance ?

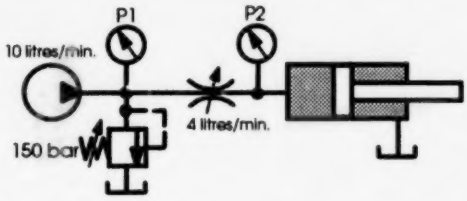
Notez qu'aucune charge ne s'exerce sur le vérin.



Comment va se manifester la puissance dans cette situation ?

Comment va-t-elle se distribuer dans les diverses parties du circuit ?

6- Déterminez la pression qui sera enregistrée aux manomètres pendant la sortie du vérin et lorsqu'il sera à la fin de course. **Notez qu'aucune charge ne s'exerce sur le vérin.**



Pendant la sortie: P1 = P2 =

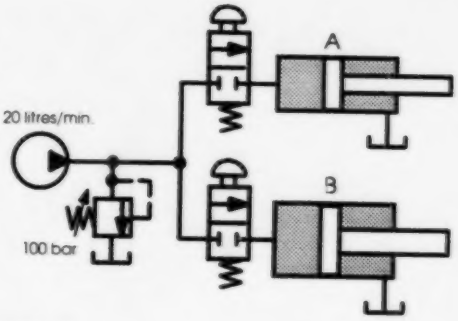
À la fin de course: P1 = P2 =

Sur quelle règle, loi ou principe basez-vous votre raisonnement ? Expliquez.

SI

7- Dans ce circuit, le diamètre du vérin (A) est plus petit que celui du vérin (B). Les distributeurs permettent d'alimenter l'un ou l'autre des vérins.

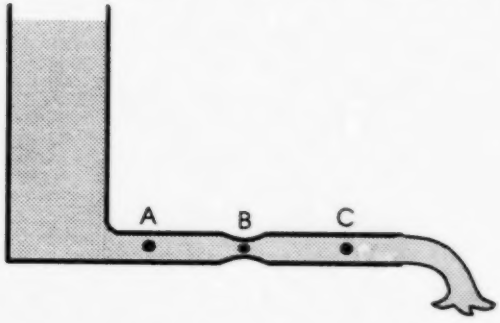
Quel vérin pourra exercer la plus grande force ? Expliquer votre réponse.



Quel vérin sortira avec la plus grande vitesse ? Expliquer votre réponse.

Quel vérin produira la plus grande puissance ? Expliquer votre réponse.

8- Si le niveau du réservoir est maintenu constant, quelle sera la relation entre les pressions (P) aux points (A), (B) et (C) ? Quelle sera la relation entre les débits (Q) aux mêmes points ?

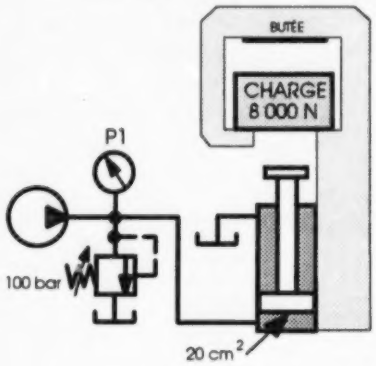


Pressions (P):	Débits (Q):
P(A) = P(B)	Q(A) = Q(B)
> P(B)	> Q(B)
< P(B)	< Q(B)
P(A) = P(C)	Q(A) = Q(C)
> P(C)	> Q(C)
< P(C)	< Q(C)
P(B) = P(C)	Q(B) = Q(C)
> P(C)	> Q(C)
< P(C)	< Q(C)

Sur quel principe, loi ou règle appuyez-vous vos réponses ? Expliquez et commentez.

SI

9- Dans ce montage, le vérin avancera jusqu'à la charge, puis la soulèvera et la pressera contre la butée. Déterminer la pression au manomètre P1 aux moments suivants :

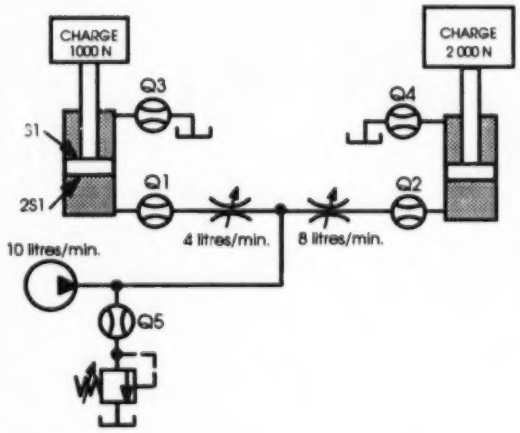


Pendant la montée sans charge : P1 =
Pendant la montée avec la charge: P1 =
Pendant le pressage de la charge: P1 =

Expliquez votre raisonnement.

La vitesse du vérin sera-t-elle la même tout au long de sa montée ? Pourquoi ?

10- Dans ce montage, les deux vérins sont identiques, mais les charges sont différentes. Le réglage du limiteur de pression (valve de sécurité) suffit largement pour soulever les charges. Compte tenu du débit de la pompe et des réglages des limiteurs de débit, quel sera l'ordre de sortie des vérins ? Y aura-t-il séquence (un vérin après l'autre), ou plutôt, les deux vérins sortiront-ils en même temps ? Pourquoi ?



La vitesse des vérins, sera-t-elle la même ? Pourquoi ?

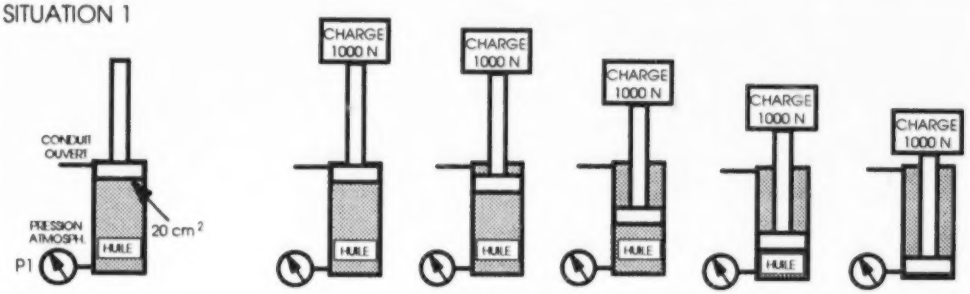
Quel sera le débit (Q litres/min) aux débitmètres suivants ? Expliquez.

Q1 = Q2 = Q3 = Q4 = Q5 =

SI

11- Dans les deux situations illustrées, les vérins sont identiques. Cependant, l'un est rempli d'huile (situation 1), tandis que l'autre est rempli d'air (situation 2). Avec les tiges complètement sorties, on applique des charges identiques aux deux vérins. Encerclez le dessin qui illustre mieux la position finale qui en résultera pour chaque cas. Expliquez votre choix. Déterminer la pression aux manomètres.

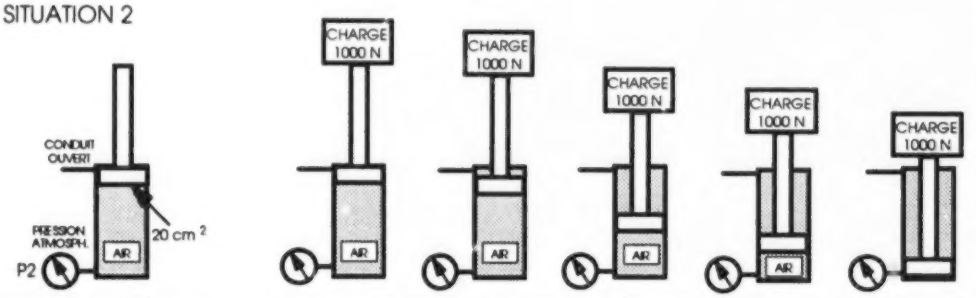
SITUATION 1



JUSTIFICATION DU CHOIX:

PRESSION P1 =

SITUATION 2



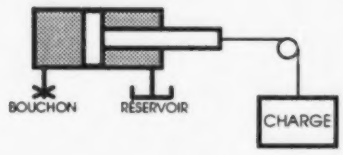
JUSTIFICATION DU CHOIX:

PRESSION P2 =

QUESTIONNAIRE ÉCRIT (VERSION U.S.)

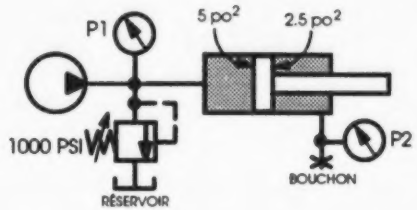
US

1- La charge descendra-t-elle ? Si oui, dans quelles conditions ? Si non, pourquoi ?



Expliquez votre raisonnement.

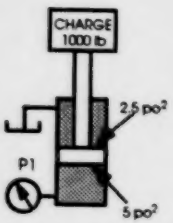
2- Le vérin avancera-t-il ? Que se passera-t-il ?



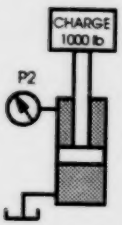
Expliquez votre raisonnement.

Déterminez la pression aux manomètres : P1 = P2=

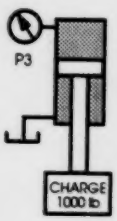
3- Dans les montages suivants, les vérins et les charges sont identiques. Indiquez, pour chaque cas, si la charge descendra ou non. Expliquez le raisonnement que vous appliquez pour chaque situation. **US**



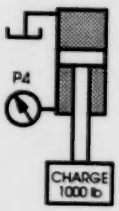
MONTAGE 1



MONTAGE 2



MONTAGE 3



MONTAGE 4

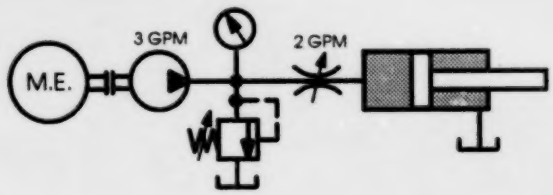
Déterminez la pression aux manomètres : P1 = P2 = P3 = P4 =

4- Lorsqu'une pompe vieillit, les pièces s'usent et les fuites internes augmentent de manière importante. Alors la pompe est portée à chauffer plus qu'auparavant, surtout si elle travaille à haute pression. Comment s'explique ce réchauffement ? Quelle en est la cause ?

US

5- Le moteur électrique (M.E.) qui entraîne la pompe de ce système consomme, dans les conditions montrées, une puissance de 4 HP. Que devient cette puissance ?

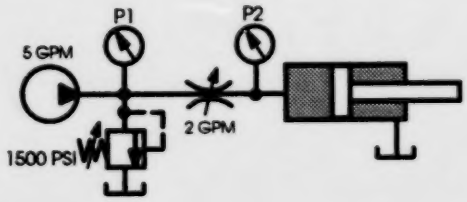
Notez qu'aucune charge ne s'exerce sur le vérin.



Comment va se manifester la puissance dans cette situation ?

Comment va-t-elle se distribuer dans les diverses parties du circuit ?

6- Déterminer la pression qui sera enregistrée aux manomètres pendant la sortie du vérin et lorsqu'il sera à la fin de course. **Notez qu'aucune charge ne s'exerce sur le vérin.**



Pendant la sortie: P1 = P2 =

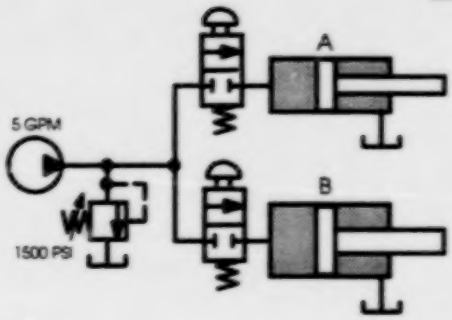
À la fin de course: P1 = P2 =

Sur quelle règle, loi ou principe basez-vous votre raisonnement ? Expliquez.

US

7- Dans ce circuit, le diamètre du vérin (A) est plus petit que celui du vérin (B). Les distributeurs permettent d'alimenter l'un ou l'autre des vérins.

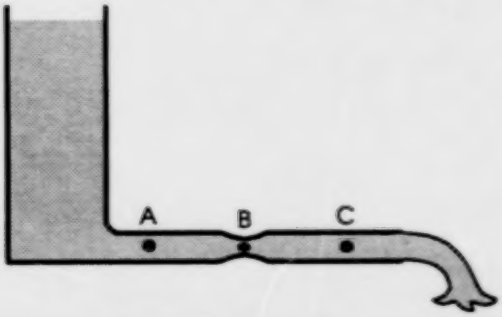
Quel vérin pourra exercer la plus grande force ? Expliquer votre réponse.



Quel vérin sortira avec la plus grande vitesse ? Expliquer votre réponse.

Quel vérin produira la plus grande puissance ? Expliquer votre réponse.

8- Si le niveau du réservoir est maintenu constant, quelle sera la relation entre les pressions (P) aux points (A), (B) et (C) ? Quelle sera la relation entre les débits (Q) aux mêmes points ?

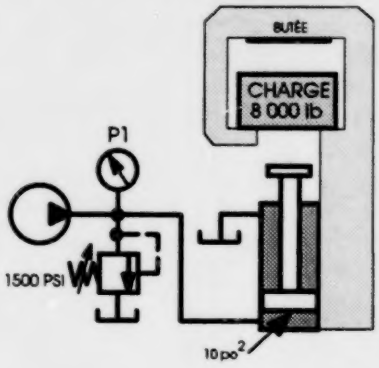


Pressions (P):	Débits (Q):
P(A) = P(B)	Q(A) = Q(B)
> P(B)	> Q(B)
< P(B)	< Q(B)
P(A) = P(C)	Q(A) = Q(C)
> P(C)	> Q(C)
< P(C)	< Q(C)
P(B) = P(C)	Q(B) = Q(C)
> P(C)	> Q(C)
< P(C)	< Q(C)

Sur quel principe, loi ou règle appuyez-vous vos réponses ? Expliquez et commentez.

US

9- Dans ce montage, le vérin avancera jusqu'à la charge, puis la soulèvera et la pressera contre la butée. Déterminer la pression au manomètre P1 aux moments suivants :

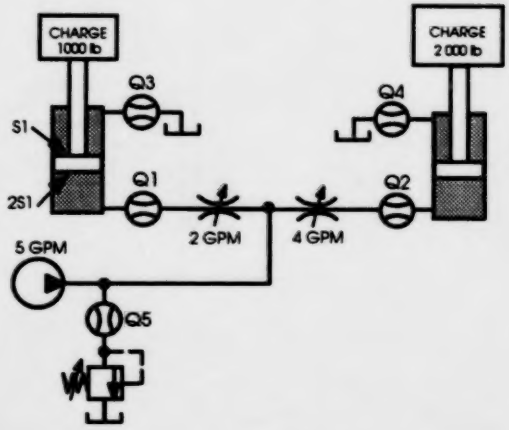


Pendant la montée sans charge : P1 =
Pendant la montée avec la charge: P1 =
Pendant le pressage de la charge: P1 =

Expliquez votre raisonnement.

La vitesse du vérin sera-t-elle la même tout au long de sa montée ? Pourquoi ?

10- Dans ce montage, les deux vérins sont identiques, mais les charges sont différentes. Le réglage du limiteur de pression (valve de sécurité) suffit largement pour soulever les charges. Compte tenu du débit de la pompe et des réglages des limiteurs de débit, quel sera l'ordre de sortie des vérins ? Y aura-t-il séquence (un vérin après l'autre), ou plutôt, les deux vérins sortiront-ils en même temps ? Pourquoi ?



La vitesse des vérins sera-t-elle la même ? Pourquoi ?

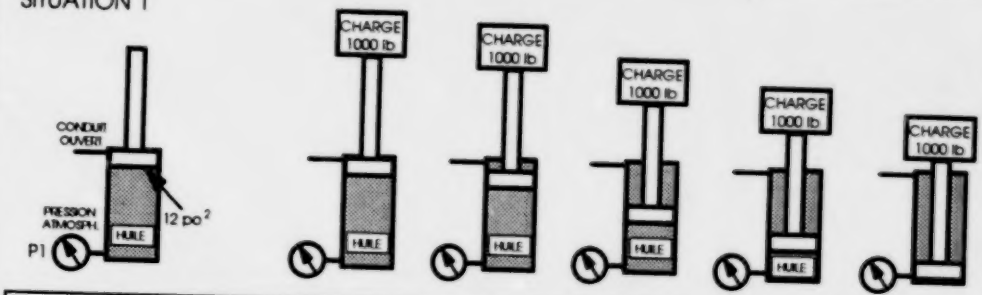
Quel sera le débit (Q en GPM) aux débitmètres suivants ? Expliquez.

Q1 = Q2 = Q3 = Q4 = Q5 =

US

11- Dans les deux situations illustrées, les vérins sont identiques. Cependant, l'un est rempli d'huile (situation 1), tandis que l'autre est rempli d'air (situation 2). Avec les tiges complètement sorties, on applique des charges identiques aux deux vérins. Encerclez le dessin qui illustre mieux la position finale qui en résultera pour chaque cas. Expliquez votre choix. Déterminer la pression aux manomètres.

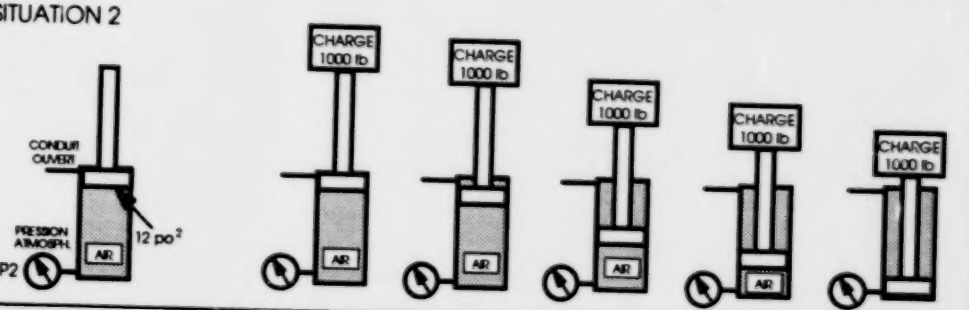
SITUATION 1



JUSTIFICATION DU CHOIX:

PRESSION P1 =

SITUATION 2



JUSTIFICATION DU CHOIX:

PRESSION P2 =

ANNEXE V : COMPILATION DES RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE ÉCRIT
ET ÉNONCÉS DES HYPOTHÈSES DE REPRÉSENTATIONS DES ÉLÈVES

SITUATION 1

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL FONDÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1			x	
2			x	
3		x		Évoque le vide
4			x	Le vide serait impossible
5			x	Le vide serait impossible
6			x	Le vide serait impossible
7			x	Le vide serait impossible
8			x	Le vide serait impossible
9			x	Le vide serait impossible
10			x	Évoque une basse pression
11			x	Le vide serait impossible
12			x	Le vide serait impossible
13			x	Descente lente
14			x	Le vide serait impossible
15			x	Seul le port de sortie compte
16			x	Seul le port de sortie compte
17			x	Le manque d'air retiendra le vérin
18			x	Le vide serait impossible
19			x	Seul le port de sortie compte
20		x		Évoque le vide
21		x		Évoque le vide
22		x		Le vide serait impossible
23		x		Évoque la succion
24	x			
25	x			
26		x		Seul le port de sortie compte
27			x	Seul le port de sortie compte
28	x			Le vide qui peut retenir la charge
29			x	Seul le port de sortie compte
30	x			
31	x			
32		x		Évoque bien le vide

SITUATION 1 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33	x			
34			x	Seul le port de sortie compte
35		x		Évoque le vide
36			x	Pas de réponse
37			x	Évoque un vide élastique (« déformable»)
38			x	Évoque le vide, mais ça ne descend pas
39			x	Descente lente à cause des pertes
40			x	Évoque liquide ni compressible ni extensible
41			x	Évoque étanchéité parfaite
42			x	Seul le port de sortie compte
43			x	Évoque équilibre entre la charge et la tige
44			x	Évoque la nécessité d'une charge lourde
45			x	Seul le port de sortie compte
46			x	Évoque étanchéité du bouchon et des joints
47			x	Seul le port de sortie compte
48			x	Évoque le vide mais il serait impossible
49			x	Évoque liquide ni compressible ni extensible
50			x	Évoque liquide ni compressible ni extensible
51			x	Le vide serait impossible
52		x		
53			x	Le vide serait impossible
54			x	Le vide serait impossible
55			x	Le vide serait impossible
56			x	Le vide serait impossible
57			x	Le vide serait impossible
58		x		Seul le port de sortie compte
59			x	Le vide serait impossible
60			x	
61			x	
62			x	Le vide serait impossible
63			x	Le vide serait impossible
64			x	Le vide serait impossible

BONNES RÉPONSES: 9% RÉPONSES DOUTEUSES: 16% MAUVAISES RÉPONSES: 75%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Le vide est impossible; c'est comme une pression négative dont la valeur n'a pas de limite; en conséquence, si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort et il ne bougera pas, pourvu que les parois résistent.

2- Le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse; plus on l'étire, plus il résiste.

3- Seul le port de sortie (dans le sens du mouvement de la charge) sert à déterminer le comportement du vérin. Conséquemment, le vide, dans le port d'entrée, n'est pas à considérer.

SITUATION 2

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1			x	Mouvement jusqu'à équilibrer pressions
2		x		Ne donne pas les pressions
3		x		Bon rapport de pressions
4		x		Bon rapport de pressions
5		x		Rapport inverse des pressions
6		x		Bon rapport de pressions
7		x		Bon rapport de pressions
8	x			Évoque temps pour augmenter pression
9	x			Évoque équilibre des forces
10		x		Pressions égales
11	x			
12		x		Pressions égales
13		x		Pressions égales
14			x	Mouvement jusqu'à pressions égales
15			x	Le manomètre va sauter
16	x			
17		x		Bon rapport de pressions
18		x		Bon rapport de pressions
19	x			
20	x			Erreur de calcul
21		x		Rapport inverse des pressions
22	x			
23			x	Le vérin reculera
24	x			
25		x		Équilibre des pressions
26		x		Équilibre des pressions
27		x		Équilibre des pressions
28	x			
29		x		Équilibre des pressions
30		x		Équilibre des pressions
31	x			
32		x		Rapport inverse des pressions

SITUATION 2 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33		x		Équilibre des pressions
34		x		Bon rapport de pressions
35	x			
36		x		Bon rapport de pressions
37	x			
38		x		Pression «égale» de chaque coté
39	x			
40		x		Rapport inverse des pressions
41	x			
42	x			Équilibre des forces mais erreur calcul
43		x		Équilibre des pressions
44		x		P1 = P2 = 0
45		x		Équilibre des pressions
46	x			
47	x			
48	x			
49			x	La pompe «donne» la pression
50			x	
51	x			
52		x		
53	x			
54		x		P1 = 2P2
55	x			
56	x			
57	x			
58		x		P1 = 2P2
59		x		P1 = 400 PSI
60			x	P2 = 480 PSI
61			x	P1 = 5000 PSI > que le limiteur de press.
62	x			
63	x			
64	x			

BONNES RÉPONSES: 41% RÉPONSES DOUTEUSES: 47% MAUVAISES RÉPONSES: 12%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Les pressions s'équilibrent (et non les forces), malgré les surfaces inégales d'un vérin.

2- Force et pression sont synonymes.

SITUATION 2				
ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1			x	Mouvement jusqu'à équilibrer pressions
2		x		Ne donne pas les pressions
3		x		Bon rapport de pressions
4		x		Bon rapport de pressions
5		x		Rapport inverse des pressions
6		x		Bon rapport de pressions
7		x		Bon rapport de pressions
8	x			Évoque temps pour augmenter pression
9	x			Évoque équilibre des forces
10		x		Pressions égales
11	x			
12		x		Pressions égales
13		x		Pressions égales
14			x	Mouvement jusqu'à pressions égales
15			x	Le manomètre va sauter
16	x			
17		x		Bon rapport de pressions
18		x		Bon rapport de pressions
19	x			
20	x			Erreur de calcul
21		x		Rapport inverse des pressions
22	x			
23			x	Le vérin reculera
24	x			
25		x		Équilibre des pressions
26		x		Équilibre des pressions
27		x		Équilibre des pressions
28	x			
29		x		Équilibre des pressions
30		x		Équilibre des pressions
31	x			
32		x		Rapport inverse des pressions

SITUATION 2 (SUITE)				
ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33		x		Équilibre des pressions
34		x		Bon rapport de pressions
35	x			
36		x		Bon rapport de pressions
37	x			
38		x		Pression «égale» de chaque coté
39	x			
40		x		Rapport inverse des pressions
41	x			
42	x			Équilibre des forces mais erreur calcul
43		x		Équilibre des pressions
44		x		P1 = P2 = 0
45		x		Équilibre des pressions
46	x			
47	x			
48	x			
49			x	La pompe «donne» la pression
50			x	
51	x			
52		x		
53	x			
54		x		P1 = 2P2
55	x			
56	x			
57	x			
58		x		P1 = 2P2
59		x		P1 = 400 PSI
60			x	P2 = 480 PSI
61			x	P1 = 5000 PSI > que le limiteur de press.
62	x			
63	x			
64	x			

BONNES RÉPONSES: 41% RÉPONSES DOUTEUSES: 47% MAUVAISES RÉPONSES: 12%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Les pressions s'équilibrent (et non les forces), malgré les surfaces inégales d'un vérin.

2- Force et pression sont synonymes.

SITUATION 3

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1	1	2	1	
2	1	3		
3	1	1	2	P2=-400 PSI, P3=-200 PSI
4	4			
5	2		2	P2=-400 PSI, P3=-200 PSI
6	4			
7		2	2	Faut connaître la source de fluide
8	2		2	Même raisonnement pour les quatre
9	4			
10	2		2	Le vide serait impossible
11		2	2	Aucune explication
12		2	2	Erreurs de calcul
13	4			
14	2		2	P2=-400 PSI, P3=-200 PSI
15	2		2	Le vide serait impossible
16	4			
17	4			
18	4			Erreurs de calcul
19	4			
20	4			Erreurs de calcul
21	4			Erreurs de calcul
22	2		2	Le vide serait impossible
23	2		2	Le vide serait impossible
24	4			
25	4			
26	4			Erreurs de calcul
27	4			
28	4			Le vide serait élastique
29	2	2		P2= 10 bar, P3 = 5 bar
30	2	1	1	...Si la pression suffit pour faire le vide
31	4			Erreurs de calcul
32	4			Erreurs de calcul

SITUATION 3 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33	4			Erreurs de calcul
34	2	2		P2= 10 bar, P3 = 5 bar
35	4			P2 et P3 = 0 bar
36	2	2		
37	2	2		P2= -100 bar, P3 = -50 bar
38		2	2	Le vide serait impossible
39		1	3	Le vide serait impossible
40	2		2	P2=-400 PSI, P3=-200 PSI
41	2		2	P2=-400 PSI, P3=-200 PSI
42	4			P2 et P3 = 0 PSI
43	1	2	1	P2 et P3 = 0 PSI
44	2		2	La charge descend lentement
45	4			P2 et P3 = 0 PSI
46	2		2	Le vide serait impossible
47		2	2	Descente avec le temps
48	2		2	Le vide serait impossible
49	2		2	Le vide serait impossible
50	2		2	Le vide serait impossible
51	1		3	Pas de mouvement dans les 4 montages
52	4			Évoque bien le vide (P2 =P3 = 0)
53		2	2	
54	2		2	Le vide serait impossible
52	2		2	Le vide serait impossible (P2 = -400 PSI)
56		4		P2 =P3 = 0 PSI
57	2		2	Le vide serait impossible (P2 = -400 PSI)
58			4	«La pression s'en va directement au res.»
59	2		2	P2 = 400 PSI
60	1		3	P1 = P2 = P4 = 400 PSI
61	2	2		«...descend à cause des pertes
62			4	Le vide serait impossible (P2 = -400 PSI)
63		2	2	Pas de mouvement dans les 4 montages
64	2	2		«La succion empêche la descente»

BONNES RÉPONSES: 56% RÉPONSES DOUTEUSES: 16% MAUVAISES RÉPONSES: 28%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Le vide est impossible; c'est comme une pression négative dont la valeur n'a pas de limite; en conséquence, si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort et il ne bougera pas, pourvu que les parois résistent.

2- Le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse; plus on l'étire, plus il résiste.

3- Seul le port de sortie (dans le sens du mouvement de la charge) sert à déterminer le comportement du vérin. Conséquemment, le vide, dans le port d'entrée, n'est pas a considérer.

SITUATION 4

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1			x	Manque de lubrification = chaleur
2			x	Tourne plus pour même rendement
3			x	Frottements concentrés
4			x	Pas d'huile, la pompe chauffe
5			x	Frictions dues à la pression
6			x	Frottement dans les parois = chaleur
7			x	La pompe force plus, il y a résistance
8			x	Moins bonne lubrification
9			x	Doit tourner plus vite
10	x			
11				Pas de réponse
12		x		Liquide à haute vitesse = chaleur
13			x	Doit tourner plus vite
14			x	Travaille plus fort = plus de frottement
15			x	Travaille plus fort = plus de frottement
16			x	L'huile est partout à la fois
17			x	Friction = moteur force plus = chaleur
18			x	Plus de frottement et de l'air
19			x	Pas de réponse
20			x	Vitesse du fluide, rugosité des tuyaux
21			x	Plus d'énergie pour compenser fuites
22			x	Pompe moins de liquide
23		x		Chocs entre molécules d'huile
24	x			
25			x	Frottements entre pièces usées
26			x	Frottements entre pièces usées
27			x	Les fuites ne peuvent pas se refroidir
28			x	La pompe chauffe l'huile plus longtemps
29			x	Pas de réponse
30		x		La vitesse de l'huile dans les fuites
31		x		Frottement entre molécules d'huile
32		x		Frottement entre molécules d'huile

SITUATION 4 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33			x	Morceaux métal dans le circuit = frotte.
34			x	Pas de réponse
35			x	Haute pression = coeff. frott. élevé
36			x	Tourne plus pour tenir sa pression
37			x	Pas de réponse
38			x	Pressions internes
39			x	Huile stagnante = mauvaise dissipation
40			x	Travaille plus pour fournir même P et Q
41			x	Travaille plus fort et plus vite
42		x		Écoulement d'huile le long des parois
43		x		L'huile circule = frottement
44			x	Plus de fuites, plus de chaleur
45	x			
46	x			
47			x	Pas de réponse
48			x	L'huile reste dans la pompe, se chauffe
49			x	Si la pression augmente, la chaleur aussi
50			x	Si la pression augmente, la chaleur aussi
51		x		
52	x			
53			x	Frottements mécaniques
54	x			
55	x			
56			x	Frottements mécaniques
57			x	Pas de réponse
58			x	«..fabrication de pression --> chaleur»
59		x		
60			x	Pas de réponse
61			x	«...rechauf. --> friction de la pression»
62			x	« ...la pompe force plus»
63		x		
64			x	Frottements mécaniques

BONNES RÉPONSES: 10% RÉPONSES DOUTEUSES: 16% MAUVAISES RÉPONSES: 72%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- L'augmentation de chaleur s'explique par l'augmentation des frottements mécaniques. Ces frottements sont la seule source de chaleur.

2- La pompe usée doit travailler plus fort pour maintenir ses performances; elle se fatigue plus vite. Alors, la chaleur augmente, de manière semblable à un moteur électrique ou à combustion interne.

3- La perte de débit (sous pression) causée par l'augmentation des fuites n'est pas une source de chaleur. Il n'y a pas de transformation d'énergie fluide en chaleur.

SITUATION 5

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1			2	La puissance reste constante
2		1	1	Pression = puissance(?)
3			2	Débit = puissance (?)
4			2	
5			2	Pas de réponse
6			2	Débit = puissance (?)
7			2	Pression = puissance (?)
8			2	Sortie du vérin = puissance (?)
9			2	Débit = puissance (?)
10			2	Sortie du vérin = puissance (?)
11			2	Pression = puissance (?)
12			2	Pas de réponse
13			2	Pas de réponse
14		1	1	Frottements et faire circuler l'huile
15			2	Pas de réponse
16			2	Pas de réponse
17			2	Pas de réponse
18			2	Pas de réponse
19		1	1	Chaleur, frottement
20			2	Pression = puissance (?)
21			2	Débit = puissance (?)
22			2	La pompe va fonctionner
23		1	1	Évoque liens: pression, débit, puissance
24			2	Débit = puissance (?)
25			2	Débit = puissance (?)
26			2	Pas de réponse
27		2		Pertes au passage par le LP et LD
28	1	1		Bonne répartition
29		1	1	Débit = puissance (?)
30		1	1	Énergie, frottement -> chaleur
31			2	Sortie du vérin = puissance (?)
32		1	1	Sortie du vérin = puissance (?)

SITUATION 5 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33		2		Évoque la transformation en chaleur
34		2		Évoque la transformation en chaleur
35		1	1	Évoque la transformation en chaleur
36			2	Sortie du vérin = puissance (?)
37			2	Pas de réponse
38			2	Sortie du vérin = puissance (?)
39			2	Puissance = pression disponible (?)
40			2	Puissance = énergie hydr. = poussée
41			2	
42		1	1	Pression = puissance (?)
43		2		Puissance = débit x pression
44			2	
45			2	Sortie du vérin = puissance (?)
46		1	1	Vitesse du vérin = puissance
47		1	1	Vitesse du vérin = puissance
48		1	1	Puissance = débit x pression
49			2	Débit = puissance (?)
50			2	
51			2	
52		1	1	puissance = énergie = débit (?)
53		1	1	
54		1	1	puissance = én. méc = pression (?)
55		2		
56			2	Pas de réponse
57	2			Évoque puissance transformée en chaleur
58		1		Évoque puissance transformée en chaleur
59		1	1	Évoque puissance transformée en chaleur
60			2	
61			2	Puissance = force = pression et surface
62		2		Évoque la chaleur
63	1	1		Évoque puissance transformée en chaleur
64			2	Évoque la chaleur

BONNES RÉPONSES: 3% RÉPONSES DOUTEUSES: 24% MAUVAISES RÉPONSES: 73%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- La puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a mouvement (ou un débit), même sans aucune force.

2- La puissance se manifeste par le simple fait qu'il y a une force (ou une pression), même sans aucun mouvement.

3- Il n'y a pas de transformation d'énergie fluide en chaleur.

SITUATION 6

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1			2	Pression = f (débit)
2			2	
3			2	Pression = f (débit)
4	1	1		
5			2	Pas de réponse
6			2	La P dans un tuyau reste constante
7			2	Pression = débit
8	1		1	
9			2	Pas de réponse
10	1	1		Pression = f (débit)
11			2	Pas de réponse
12			2	Pression = f (débit)
13			2	
14	1		1	Pressions toujours identiques
15			2	
16			2	Pas de réponse
17			2	P2 = f (débit)
18	2			
19	1		1	
20	2			
21			2	P2= f (débit)
22			2	P2= f (débit)
23	1		1	
24	2			
25	1		1	Pressions toujours identiques
26	1		1	P2= f (débit)
27			2	Pression = débit
28	2			
29	1		1	Pression = débit
30	2			
31	2			
32	1		1	Pressions toujours identiques

SITUATION 6 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33	2			
34			2	Pas de réponse
35	1		1	Pressions toujours identiques
36			2	P2= f (débit)
37			2	Pas de réponse
38	1		1	
39	2			Fin course: P commence à se bâtir
40	2			
41	2			
42	1		1	
43	1		1	Fin course: P commence à se bâtir
44	1		1	
45	1		1	
46	2			
47	2			...La pression se bâtit dans le système
48	2			
49			2	Règle de trois : P2= f (débit)
50	1		1	Pendant la sortie: P1 = P2 = 0
51	1		1	Pendant la sortie: P1 = P2 = 0
52	1		1	Pendant la sortie: P1 = P2 = 0
53			2	Pression = débit (?)
54	1		1	Pendant la sortie: P1 = P2 = 0
55	1		1	Pendant la sortie: P1 = ? P2 = ?
56	2			
57	2			
58			2	(1)
59	2			
60	1		1	Pressions égales (1500 PSI) en tout temps
61	1		1	
62	1		1	Pendant la sortie: P1 = P2 = press. résidu.
63	2			
64			2	Pendant la sortie: P1 = P2 = 300 PSI

(1) À la fin de course, P1 =P2 = 100 PSI, ...la valve de sûreté étant ouverte

BONNES RÉPONSES: 45% RÉPONSES DOUTEUSES: 2% MAUVAISES RÉPONSES: 53%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- La pression est directement proportionnelle au débit. Si un régulateur de débit coupe de 60% le débit de la pompe, alors la pression sera 60% inférieure.

2- La pression dans un conduit est partout identique, nonobstant la présence d'un régulateur de débit.

3- La pression commence à se «bâtir» (implique : fluide compressible, donc, un certain temps) lorsque le vérin (sans charge) est à la fin de sa course, nonobstant la présence d'un régulateur de débit.

SITUATION 7

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1	1	1	1	Grande pression = grande vitesse
2			3	petit vérin = + pression = + force
3	2		1	Puissance = force (?)
4			3	
5	2		1	Puissance = force (?)
6	1	1	1	Vérin B: petite surf. = grande pression
7	1		2	Force égale car P et S sont proportion.
8	2	1		Puissance : manque de données
9	2		1	
10	3			
11	2		1	Puissance = force (?)
12	2		1	«B est plus fort donc plus puissant»
13	2		1	
14	3			
15	2		1	Puissance = force (?)
16	1		2	Petite surf. = grande pres. = grande force
17	2		1	Puissance = force (?)
18	2		1	
19	2		1	
20	3			A construit un exemple numérique
21	2		1	
22	2		1	B est plus puissant car plus fort
23	2		1	B est plus puissant car plus fort
24	3			
25	3			
26	2		1	Puissance = force (?)
27	3			
28	2		1	Puissance = force (?)
29	2		1	Puissance = vitesse (?)
30	2		1	Puissance = force (?)
31	2		1	
32	2		1	

SITUATION 7 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33	1		2	Puissance = 1/vitesse (?)
34	2		1	
35	3			
36	3			
37	2		1	
38	3			
39	2		1	Puissance = force (?)
40	2		1	Puissance = force (?)
41	2		1	B est plus puissant car plus fort
42	2		1	Puissance = force (?)
43	2		1	Puissance = force (?)
44	2		1	Puissance = force (?)
45	2		1	Puissance = force (?)
46	2		1	Puissance = vitesse (?)
47	2		1	
48	2		1	Puissance = force (?)
49	2		1	Puissance = force (?)
50	2		1	Puissance = force (?)
51	2	1		Puissance = pression (?)
52	2		1	Puissance = force (?)
53	2		1	Puissance = force (?)
54	2		1	Puissance = force (?)
55	2		1	Puissance = force (?)
56	2		1	Puissance = force (?)
57	2		1	Puissance = vitesse (?) (puis. =W/temps)
58	2		1	Puissance = force (?)
59	2		1	Puissance = vitesse (?)
60	2		1	Puissance = force (?)
61	1	1	1	Puissance = force (?); évoque flambage
62	2		1	Puissance = force (?)
63	3			
64	2		1	Puissance = force (?)

BONNES RÉPONSES: 67% RÉPONSES DOUTEUSES: 2% MAUVAISES RÉPONSES: 31%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- La puissance est caractérisée seulement par la vitesse (notion de «force vive»). Vitesse est synonyme de puissance.

2- La puissance est caractérisée seulement par la force (notion de «force tranquille»). Force est synonyme de puissance.

3- Le réduction de la section d'un conduit fait augmenter la pression et, donc, la force de vérin.

SITUATION 8

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1			6	(1), (2)
2			6	(1), (2)
3	3		3	(2)
4			6	(1), (2)
5		3	3	(1); le fluide serait compressible
6			6	Pressions identiques; (3)
7			6	(2), (3); évoque la règle de proportionnalité
8			6	Pressions identiques; (3)
9			6	Pas de réponse
10	6			Évoque bien Bernouilli
11	3		3	Pressions constantes (évoque Ventouri)
12	6			
13	4		2	
14	4	2		Évoque: Débit = Pression x Vitesse
15			6	(1), (2); évoque Bernouilli
16	6			
17			6	
18			6	(3)
19			6	
20	3		3	
21			6	Pas de réponse
22			6	Pas de réponse
23	5		1	
24	4		2	
25			6	(2) Le débit augmente après la restriction
26			6	(2)
27	3		3	(3)
28	3	2	1	P(A) = P(B)
29			6	Pas de réponse
30			6	(2), (3); évoque Pascal
31	3		3	(2)
32	2		4	(1)

SITUATION 8 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33	2		4	(3)
34	4		2	(2)
35			6	(3), les pressions sont constantes
36			6	(2)
37			6	Pas de réponse
38			6	(3), les pressions sont constantes, (4)
39	2	1	3	Évoque Bernouilli
40			6	(1), «la pression reste constante partout»
41	3		3	(1)
42				(3), les pressions sont constantes
43	3		3	(2), ... on bâti une pression...
44			6	(1), les pressions sont constantes
45			6	(1)
46	3		3	(2)
47	6			
48	3		3	(2)
49	3		3	
50	3		3	La pression se bâti...
51			6	Pressions identiques; débits:(5)
52	2	2	2	Le débit diminue à la restriction
53	1	1	4	(3) Les débits ne sont pas constants
54	4		2	«...il se bâtira une pression»
55			6	Pressions identiques; débits variables
56			6	Pressions identiques; débits variables (6)
57	5		1	
58			6	Pas de réponse
59	2		4	Le débit diminue à la restriction
60	6			
61	2		4	
62	3		3	Pressions identiques (vases communiq)
63	2		4	Le débit diminue à la restriction
64			6	Le débit diminue à la restriction

(1) Sous-tend : Débit = f (surface) uniquement.
(2) Sous-tend : Pression = f (vitesse) uniquement.
(3) Sous-tend : Débit = f (vitesse) uniquement.
(4) Le débit s'accélère en B car le fluide cherche à couler à vitesse constante.
(5) «...le débit à l'entrée d'une restriction est plus grand (nécessairement) qu'à la sortie».
(6)«...le débit est variable selon le diam. du tuyau».

BONNES RÉPONSES: 30% RÉPONSES DOUTEUSES: 3% MAUVAISES RÉPONSES: 67%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Le débit n'est pas constant dans tous les points d'un conduit. Il varie en fonction des différentes sections.

2- La pression est identique dans tous les points d'un conduit, nonobstant les différentes sections et le régime d'écoulement.

SITUATION 9				
ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1		2	2	
2			4	La vitesse diminue car la charge agit
3	3		1	La vitesse diminue car la charge agit (1)
4	3		1	
5	3		1	
6	1		3	«Vitesse = inversa. proport. à la pression»
7			4	La vitesse diminue car la charge agit
8	4			
9	1		3	La vitesse varie si la pression varie
10	4			
11	3		1	Vitesse = f (1/charge) ...bâtir la pression
12	2		2	
13	1		3	La vitesse diminue car la charge agit
14	2		2	Si la pression augmente, la vit. diminue
15	2	2		
16			4	Pas de réponse
17	1		3	La vitesse diminue car la charge agit
18	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
19	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
20	1		3	(Problèmes: 1 bar = 10 N /cm^2)
21	2		2	(Problèmes: 1 bar = 10 N /cm^2)
22			4	(Problèmes: 1 bar = 10 N /cm^2)
23	4			
24	4			
25	2		2	(Problèmes: 1 bar = 10 N /cm^2)
26	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
27	3		1	«Vitesse = inv. proport. à la pression»
28	1		3	(Problèmes: 1 bar = 10 N /cm^2)
29			4	Vitesse = f (1/charge)
30	1		3	(Problèmes: 1 bar = 10 N /cm^2)
31	2		2	(Problèmes: 1 bar = 10 N /cm^2)
32	3		1	

SITUATION 9 (SUITE)				
ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33	3		1	
34	2		2	(Problèmes: 1 bar = 10 N /cm^2)
35	3		1	
36	1		3	
37	4			
38	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
39	3		1	Vitesse = f(pression)
40	4			
41	4			
42	3		1	Vitesse = f(1/pression)
43	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
44	4			
45	4			
46	4			
47	4			
48	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
49	2		2	Vitesse = f(pression)
50	4			
51	4			
52	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
53	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
54	4			
55	4			
56	3		1	La vitesse diminue car la charge agit
57	4			
58	2		2	La vitesse diminue car la charge agit
59	4			
60			4	La vitesse diminue car la charge agit
61	3		1	(2)
62	4			
63	3		1	La vitesse change car la pression change
64	4			

(1) ...Pression que peut transmettre la pompe
(2) «...aussitôt que [le vérin] commence à lever la charge, sa vitesse diminue pour prendre de la force».

BONNES RÉPONSES: 64% RÉPONSES DOUTEUSES: 2% MAUVAISES RÉPONSES: 34%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Le débit d'une pompe varie de manière inversement proportionnelle à la pression. Conséquemment, la vitesse d'un vérin diminue lorsque la charge augmente.

SITUATION 10

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
1	1		6	(1), (2)
2			7	Pas de réponse
3			7	Pas de réponse
4			7	Pas de réponse
5	1		6	(1), (3)
6	2		5	(1) (3)
7	3	1	3	(1),
8	3		4	(1), (2)
9	1		6	
10	6		1	(1)
11	1		6	
12	5		2	(1)
13			7	Pas de réponse
14	2		5	(1), (2)
15	2	1	4	(1)
16			7	Pas de réponse
17			7	Pas de réponse
18			7	Pas de réponse
19	2		5	(1)
20	6		1	Bonnes justifications
21	2		5	
22	3	1	3	(1), vitesse = f(débit. 1/charge)
23	3		4	(1), (2)
24	7			
25	4		3	(1)
26	3		4	(1)
27	1		6	(1)
28	7			
29			7	Pas de réponse
30	2	1	4	
31			7	
32	4		3	

(1) Q1 + Q2 > Q pompe
(2) Débit entrant dans le vérin = débit sortant

SITUATION 10 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33	1		6	(1), (2), vitesse = f (1/charge)
34	1		6	(1), (2), vitesse = f (1/charge)
35	4		3	(1)
36			7	Pas de réponse
37			7	Pas de réponse
38	2	1	4	(2)
39	4	1	2	(2)
40	5		2	(3)
41	7			Bonnes justifications
42			7	Pas de réponse
43	2		5	(1), (2)
44	1	1	5	(1), (2), vitesse = f(1/charge)
45	2		5	(1), (2), vitesse = f(1/charge)
46	6		1	
47	6		1	
48	6		1	
49	1		6	(3), ...le débit compense pour la charge
50	4		3	(2), ...plus de pression = plus de temps
51	4		3	(4)
52	3		4	(1) Il y aura séquence
53	1		6	(4); Q sortie des vérins = 0
54			7	Tous les débits sont identiques = 5 GPM
55	1		6	(2)
56	1		6	(4); Q sortie des vérins = 0
57			7	Pas de réponse
58	3		4	(4)
59	3		4	(2)
60	2		5	(1), (2)
61	5	1	1	
62	3		4	(1), (2)
63	2	1	4	(1), (3)
64	3		4	(1), (2)

(3) Débit entrant dans le vérin < débit sortant
(4) Q1 + Q2 < Q pompe

BONNES RÉPONSES: 34% RÉPONSES DOUTEUSES: 2% MAUVAISES RÉPONSES: 64%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- Dans un noeud (un embranchement) la somme des débits (entrants et sortants) peut ne pas être nulle. Conséquemment, les débits sortants peuvent être supérieurs ou inférieurs au débit entrant, en provenance de la pompe.

2- Le débit entrant et sortant d'un vérin est constant, nonobstant les surfaces inégales du piston.

3- Le régulateur de débit détermine le débit qui passe par un conduit plutôt que le débit maximal possible.

SITUATION 11

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSES	REMARQUES
1	4			
2	2		2	Pressions = 0
3	4			
4	2		2	
5	4			
6	2	1	1	Évoque: puissance, pression atmosph.
7		2	2	Pres. insuffis. pour soulever la charge
8	4			
9		1	3	SIT 1 = SIT 2, liens avec pres. atmosph.
10	4			
11			4	Pas de réponse
12	2		2	
13	3		1	«L'air est compressible quelque peu»
14	2	2		
15	2		2	La compres. de l'huile serait bien visible
16			4	Pas de réponse
17	2		2	
18	2		2	L'air comprimé disparaît (?)
19	2		2	P2 = 0 car l'air est comprimé (disparaît)
20	2		2	
21	1		3	SIT 1 = SIT 2, le fluide disparaît
22	2		2	SIT 1 = SIT 2, le fluide disparaît
23	3		1	SIT 1 = SIT 2, «l'air n'est pas compres.»
24	4			
25	4			
26	3		1	L'air comprimé disparaît (?)
27	4			
28	4			
29			4	Pas de réponse
30	4			
31			4	Pas de réponse
32	2	2		Erreur de calcul de la pression

SITUATION 11 (SUITE)

ÉLÈVE	BONNE RÉPONSE	RÉPONSE DOUTEUSE OU MAL JUSTIFIÉE	MAUVAISE RÉPONSE	REMARQUES
33	1		3	
34	3		1	L'air comprimé disparaît (?)
35	3		1	L'air comprimé disparaît (?)
36			4	
37	4			
38	4			
39	4			
40	4			
41	4			
42	4			
43			4	Sous pres. l'huile ->50% vol; l'air disparaît
44	4			
45	4			
46	4			
47	3		1	«L'air réagit comme l'huile»
48	4			
49	3		1	P2 = ?
50	4			
51	1		3	L'air comprimé disparaît (?)
52	3	1		
53	4			
54	3	1		
55	3		1	
56	4			
57	3	1		
58			4	Pas de réponse
59			4	Pas de réponse
60	1		3	«...air capable de [...] grande vitesse»
61	3		1	
62	4			
63	1	1	2	
64	4			

BONNES RÉPONSES: 64% RÉPONSES DOUTEUSES: 5% MAUVAISES RÉPONSES: 31%

PRINCIPALES REPRÉSENTATIONS INFORMELLES SOUS-TENDANT LES RÉPONSES OBTENUES :

1- L'air est très compressible ; sous une pression de quelques bar, il disparaît.

2- L'air et l'huile sont très compressibles; à cet égard, les deux se comportent de manière semblable.

3- L'air et l'huile sont incompressibles; à cet égard, les deux se comportent de manière semblable.